



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTÍ METODOU VODNÍHO PAPRSKU

MANUFACTURING OF COMPONENTS USING THE WATERJET METHOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Lukáš PETŘEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Petřek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba součástí metodou vodního paprsku

v anglickém jazyce:

Manufacturing of Components Using the Waterjet Method

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rozbor technologie vodního paprsku.
2. Představení strojového parku firmy.
3. Ukázka konkrétních procesů včetně ekologie.
4. Technická dokumentace k výrobkům.
5. Diskuze.
6. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Teoretický přehled spojený s rozsáhlou praktickou částí z prostředí konkrétní firmy.

Seznam odborné literatury:


1. MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie (Advanced methods of material removal). 1. vyd. Košice: Viena, 2000. 276 s. ISBN 80-7099-430-4.
2. HÍREŠ, Ondrej, Michal HATALA a Sergej HLOCH. Delenie kovových materiálov okružnou pílou, vodným prúdom a plazmovým oblúkom. 1. vyd. Ostrava-Poruba: Jiří Pustina, 2007. 147 s. ISBN 978-80-8073-769-6.
3. KRAJNÝ, Zdenko. Vodný lúč v praxi - WJM. 1. vyd. Bratislava: Ing. Michal Mračko, 1998. 214 s. ISBN 80-8057-091-4.
4. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 29.10.2013





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá technologií vysokotlakého hydroabrazivního paprsku. Práce je členěna na několik částí, kde v první části je rozebrán princip činnosti technologie, porovnává naměřená střední aritmetická úchylka profilu Ra na řezaných hranách vzorku po řezu vysokotlakým hydroabrazivním paprskem se střední aritmetickou úchylnkou profilu Ra danou výrobcem technologie, rozdělení abraziva včetně recyklace abraziva a dopadu odpadních vod na životní prostředí. Druhá část je zaměřena na popis jednotlivých částí technologie. Následující třetí část je věnována firmě Rychlý TOM, která se zabývá výrobou a oblastí dělení materiálu touto technologií. Dále ve čtvrté části je rozebrána výroba jednotlivých součástí. Nové trendy v oblasti technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku jsou v posledním části práce. Celou práci uzavírá diskuze a závěr.

Klíčová slova

vysokotlaký hydroabrazivní paprsek, abrazivo, střední aritmetické úchylnky profilu Ra, tryska, řezání

ABSTRACT

The present bachelor thesis deals with the technology of high pressure hydroabrasive jet. The work is divided into several parts, where the first part analyzes the working principle of technology and compares the measured arithmetic mean deviation of the profile Ra on the cutting edges of the sample after incision by high pressure hydroabrasive jet with the arithmetic mean deviation of the profile Ra given by technology manufacturer. Furthermore it presents a division of abrasives including their recycling and an impact of wastewater on the environment. The second part focuses on the description of individual components of the above technology. The following third part is devoted to the company Rychlý TOM engaged in the production and cutting of material using this technology. In addition, the fourth part discusses the production of individual components. New trends in the area of technology of high pressure hydroabrasive jet are presented in the last part. Finally the thesis provides a discussion and conclusion.

Key words

high pressure hydroabrasive jet, abrasive, arithmetic mean deviation of the profile Ra, nozzle, cutting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PETŘEK, Lukáš. *Výroba součástí metodou vodního paprsku*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 59 s. 19 příloh. Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba součástí metodou vodního paprsku** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Lukáš Petřek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Milanu Kalivodovi z VUT Brno za cenné připomínky a rady při vypracování této práce.

Touto cestou děkuji doc. Ing. Róbertu Jankových, CSc. z VUT Brno za sesnímkování povrchu řezaných hran po řezu vysokotlakým hydroabrazivním paprskem jednotlivých vzorků na přístroji Talysurf CCI Lite.

Dále děkuji Ing. Jiřímu Zahálkovi z VUT Brno za naměření střední aritmetické úchytky profilu Ra na řezaných hranách vzorku po řezu vysokotlakým hydroabrazivním paprskem jednotlivých vzorků na přístroji Perthometer Mahr 2.

Poděkování patří firmě Rychlý TOM, s.r.o. za vyřezání jednotlivých dílů, poskytnutí materiálů o firmě a prospektů k jednotlivým variantám řezacích stolů, které tato firma vyrábí.

Na závěr bych chtěl poděkovat celé své rodině za podporu během studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH.....	8
ÚVOD	10
1 ROZBOR TECHNOLOGIE VODNÍHO PAPRSKU	11
1.1 Historie.....	11
1.2 Princip vodního paprsku	11
1.3 Rozdělení technologie podle umístění	12
1.4 Rozdělení podle pracovního média.....	12
1.4.1 WJM – vysokotlaký vodní paprsek bez přídavku abraziva	12
1.4.2 AWJ – vysokotlaký hydroabrazivní paprsek	13
1.5 Řezná kapalina a její úpravy	15
1.5.1 Analýza kvality vody	16
1.5.2 Filtrace	16
1.5.3 Změkčování vody	16
1.5.4 Zpětná osmóza	17
1.5.5 Deionizace	17
1.6 Abrazivo.....	18
1.6.1 Recyklace abraziva	20
1.6.2 Odpadní látky.....	20
1.7 Kvalita povrchu po řezu vysokotlakým hydroabrazivním paprskem	21
1.8 Textura povrchu	21
1.8 Perthometer Mahr 2	31
1.9 Talysurf CCI Lite.....	31
2 POPIS ČÁSTÍ VYSOKOTLAKÉHO HYDROABRAZIVNÍHO PAPRSKU	32
2.1 Vysokotlaké vodní čerpadlo	33
2.1.1 Hydraulické čerpadlo	33
2.1.2 Multiplikátor	33
2.1.3 Akumulátor (vyrovnávací válec)	34
2.1.3 Uzavírací vysokotlaký ventil	35
2.1.4 Vysokotlaké potrubí.....	35
2.1.5 Změkčovací jednotka	35
2.1.6 Filtry.....	36

2.2 Řezací hlava	36
2.2.1 Směšovací komora	37
2.2.2 Směšovací komora s bočním přívodem abraziva	37
2.2.3 Směšovací komora s centrálním přívodem abraziva	38
2.2.4 Trysky	38
2.2.5 Trysky na řezání čistou vodou	38
2.2.6 Trysky na řezání hydroabrazivním paprskem	39
2.3 Kompresor	39
2.4 CNC řezací stůl	39
2.4.1 Řídicí systém	40
2.5 Tlakový dopravník abraziva	40
2.6 Odkalovací systém	40
2.7 Souhrnná charakteristika vysokotlakého hydroabrazivního paprsku	41
2.8 Srovnání parametrů řezání vodním paprskem, plazmou, laserem.	42
3 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI RYCHLÝ TOM, S.R.O	44
3.1 Historie	44
3.2 Provozovna Drahotuše	44
3.3 Provozovna Výrava	45
3.4 Vyráběné řady technologie	46
3.4.1 BLUE LINE	46
3.4.2 JET LINE	47
3.4.3 RED LINE	47
4 VÝROBA SOUČÁSTÍ	48
5 NOVÉ TRENDY V TECHNOLOGII	51
5.1 Pětiosá řezací hlava pac 60	51
5.2 Rotační osa	52
6 DISKUZE	53
7 ZÁVĚR	54
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	57
SEZNAM PŘÍLOH	59

ÚVOD

Téma technologie vysokotlakého vodního paprsku bylo vybráno z důvodu takových, že je považována za nekonvenční metodu obrábění a osobní zkušenosti výroby této technologie ve firmě Rychlý TOM, kde je tato práce řešena.

Voda používaná jako nástroj pro opracování široké škály nejrozličnějších materiálů se do technické praxe zavedla až v 19. století. Na základě postupném zkoumání se došlo k závěru, že pokud je voda přiváděna pod vysokým tlakem do trysky o malém průměru otvoru trysky, vede k vyššímu eroznímu opotřebení a tím i k zvýšení účinnosti při odebrání materiálu.

Technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku má velice široké využití ve všech možných odvětvích průmyslu od strojírenského až po potravinářský. Tato škála použití je dána především univerzálností a technologickými možnostmi této technologie. Stále ještě nejsou objeveny veškeré technologické možnosti, které tato technologie je schopna zvládnout.

Ve srovnání s ostatními nekonvenčními metodami obrábění jako jsou metody dělení materiálu plazmou a laserem je technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku značně univerzálnější. Tam kde ostatní nekonvenční technologie ztrácí své technologické dovednosti tam technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku využívá svou univerzálnost a nabírá na síle. A to jak při dělení materiálu široké škály a tloušťky materiálu od folií v řádu desetin milimetrů až po materiály o síle 250 mm. Nejsilnější tloušťky materiálu jsou ovlivněny také zdvihem osy Z.

Mezi nejvýznamnější výrobce technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku v ČR patří firmy PTV a Rychlý TOM. Firma Rychlý TOM vznikla na základě zkušeností dvou společníků v oblasti výroby této technologie v předchozím zaměstnání. Vlastní výrobu této technologie se věnuje firma Rychlý TOM od roku 2007. Nyní firma disponuje dvěma provozovnami a to v obci Výrava u Hradce Králového a v obci Drahotuše u Hranic na Moravě.

1 ROZBOR TECHNOLOGIE VODNÍHO PAPRSKU

Technologie vysokotlakého vodního paprsku patří mezi velice progresivní technologii se širokou škálou využití, a proto v této kapitole bude rozebrán princip činnosti technologie vysokotlakého hydroabrazivního. Jednotlivé části technologie budou rozebrány v kapitole 2.

1.1 Historie

Počátek vývoje vodního paprsku se datují od roku 1853, kdy kalifornští zlatokopové začali používat proud vody k dobývání měkké zlaté rudy. Tento proud vody měl velkou rychlost toku a tlak v desítkách MPa. V této době se začínají vyvíjet nové nekonvenční metody pro opracování a dělení nově vzniklých materiálů. Jedná se především o kompozitní a keramické materiály, které jsou využívány jak v kosmickém tak ve vojenském průmyslu¹.

Jako první, kdo začal studovat účinky vody, jako řezného nástroje byl v roce 1950 lesnický inženýr Dr. Norman Franz. Impulzu vysokotlaké kapaliny docílil tak že na sloupec vody pouštěl těžké závaží, následně vodu hnal přes trysku o malém průměru a získal tak řezací médium, které používal k řezání dřeva. Dr. Franz nikdy nevyrobil funkční stroj, ale tyto poznatky a výzkumy byly důležité pro pozdější rozvoj této technologie².

Počátkem roku 1970 vyvinula společnost Flow první vysoce spolehlivý zdroj tlakové vody (multiplikátor). Nejprve tento zdroj byl používán pro řezání měkkých, pevných a jemných materiálů, jako jsou kartony papíru, jídlo nebo dřevěné puzzle¹.

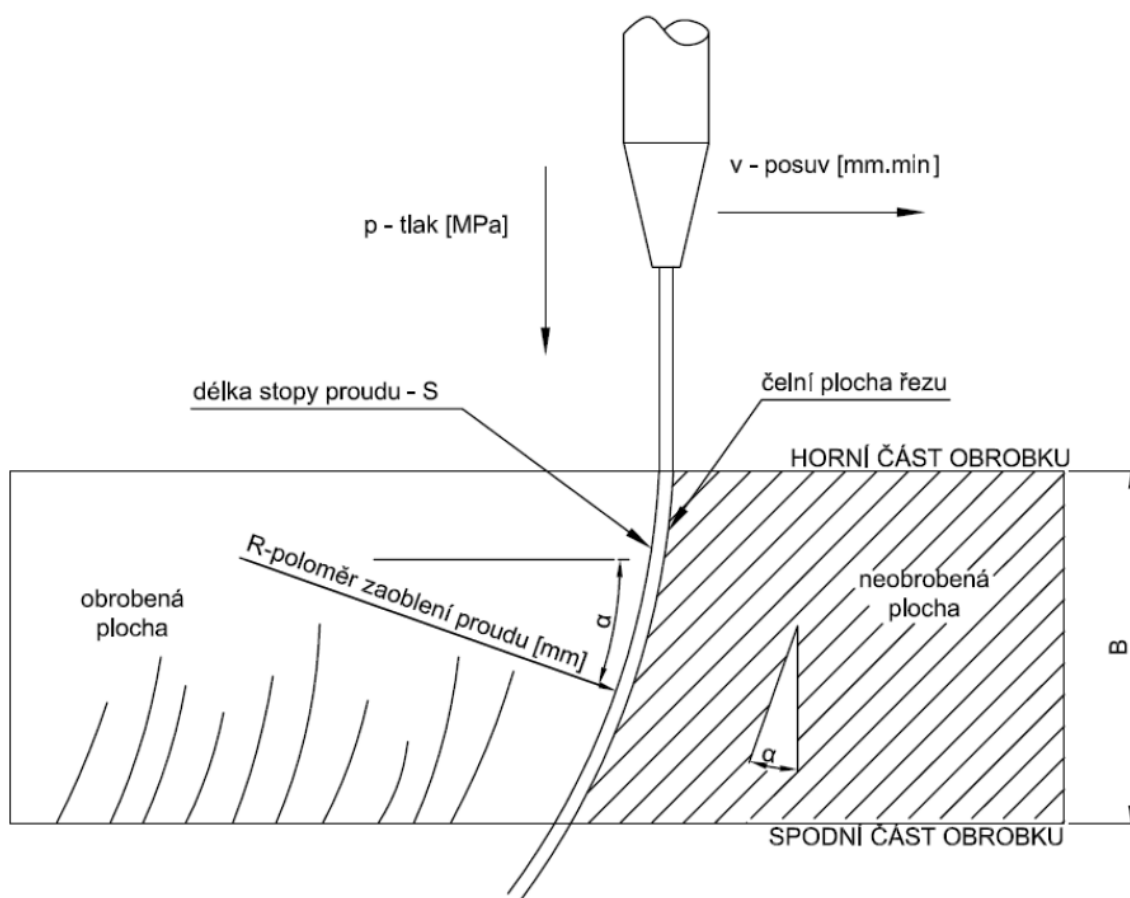
První abrazivní paprsek byl vynalezen roku 1979, jímž se dají řezat všechny tvrdé materiály jako jsou ocel, sklo a beton. Hodnota tlaku vody se pohybovala okolo 380 MPa².

Masivně se technologie vodního paprsku začala používat v devadesátých letech k řezání autoskel v automobilovém průmyslu, dále v letectví a kosmickém průmyslu pro řezání vysocepevnostních materiálů a karbonových vláken². V nemalé míře se vodní paprsek používá v potravinářském průmyslu k řezání čokolády kde jako řezné médium (abrazivo) je použit kakaový prášek a při řezání rybiho filé je jako řezné médium (abrazivo) použita krystalická sůl³.

1.2 Princip vodního paprsku

Princip vodního paprsku spočívá v mechanickém odebrání (odbrušování) částic materiálu následkem dopadu úzkého vodního proudu s velkou kinetickou energií a velkým tlakem na jednotku povrchu materiálu obrobku. Pracovní tlak se v dnešní době pohybuje v rozmezí 800 – 6200 bar. Zdrojem tlaku jsou vysokotlaké čerpadla⁴.

Vodní paprsek proniká do obrobku a postupně ztrácí svou kinetickou energii a vychyluje se. Vychylování vodního paprsku se projevuje ve spodní kontuře řezu. Paprsek se v každém bodě materiálu pohybuje po zaoblené dráze (viz obr. 1), kde zaoblení se mění podle tloušťky materiálu, čím je materiál tlustší, tím je zaoblení větší⁴.



Obr. 1 Schematické znázornění řezání vodním paprskem⁴.

1.3 Rozdělení technologie podle umístění

- stacionární - technologie, které jsou umístěné (přikotvené) pevně k podlaze v halách,
- mobilní - technologie, které nejsou pevně ukotveny, jsou plně mobilní, provádějí se s nimi tzv. destrukční řezy např. pískovcových bloků, betonových pilířů a tryskání všech možných kamenů³.

Do nedávna mobilní technologii měla k dispozici f. PTV, která technologii vodního paprsku dodává od 1991. Mobilní technologie byla umístěna v autobusu značky Karosa a byly jím prováděny veškeré destrukční řezy a tryskání starých objektů jakožto jsou zámky, apod.

1.4 Rozdělení podle pracovního média

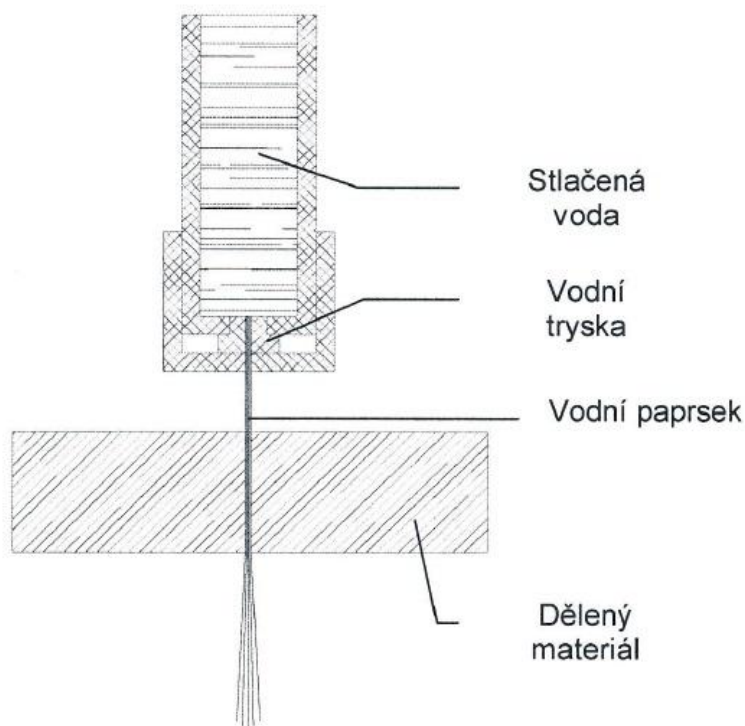
- WJM – Water Jet Machining – vysokotlaký vodní paprsek bez přídavku abraziva tzv. hydrodynamické obrábění
- AWJ – Abrasive Water Jet Machining – vysokotlaký vodní paprsek s přídavkem abraziva tzv. hydroabrazivní vodní paprsek

1.4.1 WJM – vysokotlaký vodní paprsek bez přídavku abraziva

Metoda je založena na vysokotlakém vodním čerpadle (pumpě), které generuje tlak vody, ten je dále v multiplikátoru zvýšen na potřebný tlak a tlakovým potrubím je médium

dopraveno k řezací hlavě. Schéma vysokotlakého vodního paprsku na obr. 2. Řezný účinek je oproti metodě AWJ nižší, protože řezný účinek paprsku je zvýšen příměsí abraziva a proto je tato metoda vhodná zejména k řezání měkkých materiálů jakou jsou lamináty, kevlar, sklotextil, molitan, guma, tenké plasty, kůže koberce a výplně v automobilovém průmyslu. Řezná rychlost se pohybuje v rozmezí $5 \text{ až } 400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ^{5,6}.

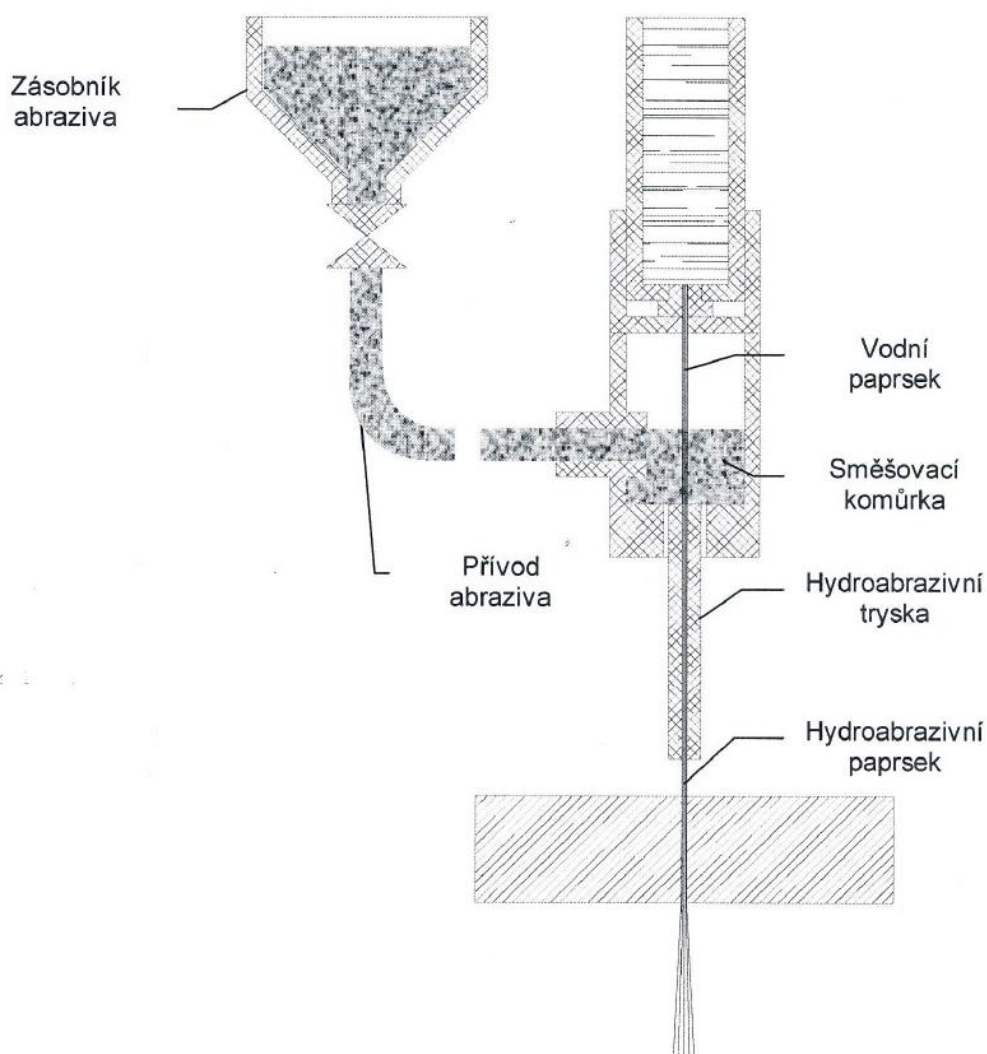
Vodní trysky jsou vyráběny ze safiru, rubínu nebo diamantu. Rozlišujeme širokou škálu průměru trysek, což zajišťuje různou kinetickou energii paprsku a dále určuje kolik pracovišť je možno napájet z jednoho zdroje (vysokotlakého čerpadla)^{5,6}.



Obr. 2 Schéma vysokotlakého vodního paprsku³.

1.4.2 AWJ – vysokotlaký hydroabrazivní paprsek

Vysokotlaký hydroabrazivní paprsek je technologický proces využívající paprsek vysokotlaké vody s příměsí abraziva k řízenému obrušování materiálu. Vysokotlaké vodní čerpadlo generuje tlak vody. Z čerpadla je tlaková voda vedena ve speciálním vysokotlakém potrubí o vnějším průměru 20 mm a vnitřním průměru do 7 mm z oceli třídy 17 (zejména 17 351) do řezací hlavy (může být i více řezacích hlav), která je umístěna na portálu CNC řízeného stolu. Abrazivo je tlakovým dopravníkem dopraveno do směšovací komory (viz obr. 3). Paprsek o tlaku 4135 bar prochází primární tryskou (většinou diamantová), kde je paprsek usměrněn. Ve směšovací komůrce řezací hlavy sebou strhává zrnka abraziva. Následným průchodem směsi vody a abraziva přes sekundární trysku vzniká řezný nástroj. Tato metoda je v praxi nejvíce využívána a proto ji bude věnována značná část této práce⁷.



Obr. 3 Schéma vysokotlakého hydroabrazivního paprsku³.

Vysokotlaký hydroabrazivní paprsek lze popsat jako vysoce erozní proces nebo také jako řízený proces erozního opotřebení materiálu, při němž vykazuje vysokou dělicí účinnost. Obecně by se tato metoda dala popsat jako technologický proces objemového odstraňování částic obrobku, k němuž dochází při vzájemném styku abraziva s obrobkem¹.

Na rozdíl od jiných a podobných metod dělení materiálu (laser, plazma, autogen) nedochází u technologie vysokotlakého vodního paprsku k tepelnému ovlivnění děleného materiálu^{5,7}.

Touto metodou lze řezat všechny druhy a tloušťky materiálu cca od 1,6 mm do 250 mm, tvary jak velkých tak i malých rozměrů. Žulu, mramor, keramiku a umělý kámen je možno uřezat s přesností 0,2 mm v libovolných křivkách řezu bez mikropnutí v kvalitě obrábění diamantovými nástroji. Vysokotlaký hydroabrazivní paprsek je přesný, flexibilní a efektivní systém řezání materiálů, který má využití v jednotlivém odvětví průmyslu jako jsou³:

- strojírenský a automobilový:
 - oceli konstrukční, nerezové, nástrojové, kalené a pružinové,

- slitiny hliníku, mědi, titanu,
- sklo čiré, barevné lepené vícevrstvé a drátosklo,
- průmyslové, reklamní a jiné plasty včetně vrstvených,
- HARDOX.
- elektrotechnický:
 - ocel, barevné kovy, umělé hmoty,
 - tepelné a elektroizolační hmoty.
- stavební:
 - mramor, žula, pískovec, keramika, porcelán,
 - přírodní či umělé kameny, brusné kameny na bázi SiC,
 - tepelné a zvukové izolace, koberce.
- papírenský:
 - lepenka, filtrační papír, izolační hmoty.
- dřevařský:
 - překližka, dýha, balsa, aglomeráty, lamino.
- potravinářský:
 - čokoláda, zmražené potraviny, sýry, atd.

Nejvhodnější pro řezání vysokotlakým vodním paprskem jsou plechy či tabule jednotlivých materiálů, ale lze i řezat hutní polotovary ve formě plných tyčí tak i trubky. Pokud je technologie vybavena výškovým senzorem můžeme řezat i zvlněné materiály³.

1.5 Řezná kapalina a její úpravy

Jednotlivé úpravy vody jsou velice důležité, předchází se zanášení otvoru trysky. Nejvhodnější použitá voda je demineralizovaná a deionizovaná. Voda musí projít filtrem, kde je odfiltrována a zbavena příměsí, které mají negativní vliv na životnost trysky, těsnicí elementy včetně těsnění zpětného ventilu a těsnění plunžrového pístu. Kvalita vody ovlivňuje také kvalitu řezu, rychlost řezání a provozní náklady^{4,8}.

Druh úpravy vody záleží na kvalitě vstupní vody, na požadavku životnosti trysky a následující operace na řezacím pracovišti. Základní úpravna vody je obvykle tvořena iontovou výměnou vody změkčovadlem. Dodatečná úpravna může obsahovat systém reverzní osmózy nebo systém míchané vody neionizované v závislosti na kvalitě vstupní vody a kvalitě žádané vody³.

Rozdělení úprav vody:

- fyzikální – chemická úprava vody,
- mechanická úprava vody (filtrace),
- biologická úprava vody³.

1.5.1 Analýza kvality vody

Analýza vody je nejdůležitějším krokem při pořizování technologie vysokotlakého vodního paprsku. Podle kvality vody se odvíjí pořizovací náklady a následné provozní náklady. Analýzu vody provádí nejbližší stanice v místě montáže technologie (např. hygienická stanice). Analýza vody by měla určit pH vody a její složení⁷.

Když se provádí analýza vody, tak se vzorek vody odebere z místa, kde se bude vstupní voda dotýkat s multiplikátorem pumpy. Pokud se potrubí vody delší dobu nepoužívalo, musí se důkladně propláchnout. Kvalita vody se mění v průběhu času. Kvalitu vody značně ovlivňuje materiál rozvodu vody, nejlepší je použít rozvod z PVC³.

Složení vody:

- celkové množství rozpuštěných pevných látek (TDS),
- celková tvrdost (ve formě CaCO_3),
- obsah železa (ve formě Fe),
- obsah manganu (ve formě Mn),
- obsah chloridu (ve formě Cl),
- obsah zákalu,
- obsah volného chlóru (ve formě Cl_2),
- faktor pH

Doporučené hodnoty nečistot:

- celkové množství rozpuštěných pevných látek (TDS): max. 500 mg.l^{-1} ,
- celková tvrdost (ve formě CaCO_3): max. 25 mg.l^{-1} ,
- obsah železa (ve formě Fe): max. 0,2 mg.l^{-1} ,
- obsah manganu (ve formě Mn): max. 0,1 mg.l^{-1} ,
- obsah chloridu (ve formě Cl): max. 100 mg.l^{-1} ,
- obsah zákalu: max. 5 NTU,
- obsah volného chlóru (ve formě Cl_2): max. 1,0 mg.l^{-1} ,
- faktor pH: 6,5 ÷ 8,5⁸.

1.5.2 Filtrace

Filtrace je proces, při kterém dochází k oddělování (separaci) pevných částic od kapalných. Filtrace probíhá skrz prostupný materiál, používá se k oddělování částic do velikosti 10^{-5}m ⁸.

1.5.3 Změkčování vody

Jedná se o proces, který se používá před deionizací anebo zpětnou osmózou. Tvrdost vody je dána koncentrací hořčíku a vápníku. K určení tvrdosti vody se používá stupnice (viz tab. 1.1) Jednotkou tvrdosti je mmol.l^{-1} , v Německu se používá stupně °dH ve Francii °F. Převod mezi jednotlivými jednotkami je v tab. 1. 2^{8,9}.

Tab. 1.1 Tvrdost vody a její rozdělení⁹.

Voda	mmol·l ⁻¹	°dH	°F
velmi tvrdá	> 3,76	> 21,01	>37,51
Tvrdá	2,51 – 3,75	14,01 -21	25,01 -37,5
středně tvrdá	1,26 – 2,5	7,01 -14	12,51 - 25
Měkká	0,7 – 1,25	3,9 - 7	7 -12,5
velmi měkká	< 0,5	< 2,8	< 5

Tab. 1.2 Převod mezi jednotlivými jednotkami tvrdosti vody⁹.

1 mmol·l ⁻¹ = 5,6 °dH
1 mmol·l ⁻¹ = 10 °F
°DH = 1,79 °F

1.5.4 Zpětná osmóza

Jedná se o metodu, která produkuje velice kvalitní vodu, voda je stlačena vysokým tlakem a usměrňována přes polopropustnou membránu, která zachycuje nečistoty, rozpuštěné částice, které jsou dále odváděny do odtoku. Při tomto procesu je zabezpečeno odstranění 97 až 98 % nečistot. Čištění vody ve WJW a AWJ je závislý na více separačních metodách⁸.

Výhody zpětné osmózy:

- menší operační náklady,
- méně agresivní než neionizovaná voda,
- nepoužívají se nebezpečné chemikálie,
- ustálenější pH a konzistentní kvalitu⁸.

1.5.5 Deionizace

Deionizace je proces, který využívá kationovou a aniontovou pryskyřici, které jsou umístěné zvlášť ve dvou nádržkách. Různé kationty jako uhlík, železo, hořčík jsou při průchodu vody přes kationovou pryskyřici přesunuty volnými minerály kyselin. Dále voda jde přes iontovou jednotku, kde jsou anionty, chloridy, sulfáty posunuté a nahrazené hydroxidy⁸.

Výhody deionizace:

- stoprocentní odstranění úplně rozpuštěných částic,
- prostorově méně náročná než zpětná osmóza,
- životnost minerálního řečiště je delší než životnost membrány⁸.

1.6 Abrazivo

Jde o brusný materiál, který společně s vysokým tlakem paprsku dodává technologii vysokotlakého vodního paprsku její progresivitu. Druh abraziva (viz obr. 4), ale také i velikost a tvar zrna má podstatný vliv na jakost povrchu řezné plochy, kde množství abraziva je udáno v $\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$. Neplatí však, že čím je větší nebo menší velikost zrna tím je vyšší či menší hloubka řezu. Při experimentálních řezech bylo zjištěno, že při použití abraziva o střední zrnitosti se dosáhne největší hloubky řezu^{4,10,11, 12}.



Obr. 4 Abrazivo.

Ve většině případů se používají abraziva uměle vyrobená, je tak možno lépe kontrolovat chemické složení, krystalickou strukturu, tvrdost, řezné vlastnosti a velikost, což u přírodních není možné. Mezi jediné přírodní abrazivo patří granát.

Abraziva používaná v technologii vysokotlakého vodního paprsku:

- Granát
 - používá se dvou modifikací:
 - a) $[\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3]$ – železo hliníkový granát (almandin),
 - b) $5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{Y}_2\text{O}_3$ – yttrium hliníkový granát.

Granát patří mezi nejvíce využívané abrazivo, které pochází z Austrálie, Číny nebo Indie, kde se získává rozdrčením vytěžené horniny anebo z naplavenin v řekách. Drcený granát se na rozdíl od říčního granátu projevuje větší řezivostí. Jednotlivé druhy abraziva jsou v příloze č. 1. Indický granát o zrnitosti 80, 120 a 200 MESH je vzestupně v příloze č. 1 a, b, c. Australský granát o zrnitosti 60, 80, 120, 240 MESH je vzestupně v příloze č. 1 d, e, f, g. Granát na tryskání o zrnitosti 12 – 25 MESH je příloze č. 1 h. Obchodní název pro granát je GARNET. Granát má velice pevné a tvrdé zrna, což poskytuje vysokou produktivitu a vynikající kvalitou řezu. Má tak dobrý řezací účinek, že dochází k opotřebení abrazivní trysky¹².

- Olivín – $(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{SiO}_4)$

Patří mezi levnější a měkčí abrazivní materiál, díky čemuž má nízký řezný výkon. Používají se spíše tam, kde se neklade důraz na výkonnost, ale na ziskovost.

- Křemičitý písek – SiO_2
Patří mezi poměrně levná abraziva, které poskytuje podstatně nižší řezací účinek a opotřebení trysky. Křemičitý písek je nevhodný k recyklaci. Dnes se už tak hojně jako dříve nevyužívá z důvodu malého množství řezných hran zrna a rychlého otupení. Zrna písku uvolňují křemičitý prach, který je karcinogenní a nebezpečný pro životní prostředí^{4,10,11,12}.
- Oxid hlinitý – Al_2O_3 (korund)
Obsahuje poměrně tvrdá, ostrá a stabilní zrna s vysokou řezací schopností a proto při jeho použití dochází vyššímu opotřebení abrazivní trysky. Je velice dobře recyklovatelný, ale za to v porovnání s ostatními abrazivy je dražší^{4,10,11}.
- Ocelová drť a ocelové broky
Ocelová drť se vyrábí, že se nejprve ocel ohřeje a následně se ponoří do vody, kde dojde k zakalení. Následně jsou získané segmenty rozdrceny do jemného prášku. Ocelová drť o zrnitosti 50 MESH je v příloze č. 1 i¹⁰.
- Sůl, kakaový prášek
Abrazivo, které je používáno v potravinářském průmyslu. Kakaový prášek je použit k řezání čokolády a sůl k řezání zmrzlých filet z ryb¹².

Zrnitost – patří mezi nejdůležitější parametr u abraziva. Udává se v jednotkách MESH (počet ok síta na čtverečný palec). Podle druhu a vlastností děleného materiálu volí optimální zrnitost abraziva. Hloubka řezání se mění s rostoucí velikostí abrazivních zrn. Nejčastěji pro dělení materiálu se používá abrazivo o zrnitosti 80 MESH¹³.

Největším dodavatel všech možných abrazivních materiálů od Granátu (GARNET) až po ocelové broky v různých zrnitostech v jednotkách MESH (viz příloha č. 1) je firma PKIT. Ke každému abrazivu dodává produktový list (viz příloha č. 2), který garantuje přesně dané chemické složení (viz tab. 1.3). Podle f. PKIT je Granát (GARNET) nazván Almandit. Složení Almanditu je přizpůsobeno požadavkům pro ochranu životního prostředí, které stanovila EU. Granát byl testován v holandské organizaci (TNO) a došlo se k závěru, že nepřekračuje povolené množství křemen 0,5%¹⁴.

Tab. 1.3 Chemické složení Almanditu¹⁴.

Chem. sloučenina	Množství [%]
SiO_2	37,08
Al_2O_3	22,00
CaO	1,55
MgO	2,32
TiO_2	1,80
Fe_2O_3	34,20
MnO	1,05

Vlastnosti Almanditu¹⁴:

Tvar zrna:	hranatý
Typ:	inertní
Barva:	červená, bílá, černá
Sypná hmotnost:	2,4 kg/dm ³
Měrná váha:	4,1 kg/dm ³

V dnešní době dochází k vývoji nových abraziv, která jsou rozpustné ve vodě. Abrazivo se po dopadu na povrch obrobku roztříští na jemný prášek a následně se rozpustí ve vodě. U těchto abraziv odpadají problémy s čištěním vany a k tomu určený odkalovací systém a popř. následovně recyklace abraziva³.

1.6.1 Recyklace abraziva

Při volbě abraziva je důležité dbát na jeho následnou recyklaci. K recyklaci slouží tzv. recyklační jednotky. Když se použije jako abrazivo například granát (Garnet) a následně se bude po použití recyklovat tak se celkové náklady sníží až o jednu třetinu. Recyklace je jedním ze základních faktorů, které ovlivňují výslednou cenu řezu¹⁵.

Z celkového množství použitého abraziva je při řezném procesu využito pouze 30 až 50%, proto je recyklace smysluplná. Zbýlá část abraziva vytváří jádro paprsku a přechází do nádrže (vany) pod obrobkem. Na základě těchto údajů byly vyvinuty recyklační jednotky, díky nimž lze získat z nádrže nepoužité abrazivo. Některá zrna aniž by přišla do kontaktu s materiálem své rozměry zmenšují a tyto zrna nejsou recyklována. Množství abraziva po recyklaci se pohybuje v řádu 50 až 60%¹⁵.

Recyklační jednotka funguje tak, že z nádrže (vany) se odsává pomocí membránového čerpadla směs vody a abraziva, která se odsává na síta vibračního separátoru, kde dochází k prvotnímu čištění. Síta mají otvory (oka), které zajišťují propad jemného, rozdrčeného abraziva, které dále už nelze používat. Takto oddělené abrazivo putuje do odpadní nádrže nebo do jutového velkoobjemového vaku, které se potom odstraňují. Abrazivo, které zůstalo na sítu je přepravováno do sušičky, kde se vlhké abrazivo suší. Dále usušené abrazivo projde jedním tříděním, při němž se rozdělí jemná a hrubá zrna a pak se pomocí vzduchového dopravníku přečerpá do zásobníku a je připraveno k dalšímu použití^{3,15}.

Recyklační jednotka nepatří zrovna mezi levné zařízení, proto se jejich použití vyplatí až při velké produkci opotřebovaného abraziva, která se pohybuje v řádu 30 a více tun abraziva za měsíc. Takovou produkci nelze dosáhnout s jedním řezacím strojem za měsíc. Firmy, které vlastní pouze jeden stroj tak abrazivo odvázejí na skládku anebo si jej nechávají recyklovat u firem, které se touto recyklací a prodejem abraziva zabývají. Tyto firmy použité abrazivo odkupují a recyklují, což je pro firmy, které vlastní stroje pro řez vodním paprskem výhodnější¹⁵.

1.6.2 Odpadní látky

Odpadní voda spolu s abrazivem a částicemi řezaného materiálu je zachycována v lapači (vaně). Z lapače voda odtéká přepadem do pomocné sedimentační nádrže a zní pak do kanalizace. Lapač se postupně plní produkty řezání, po jeho naplnění je třeba jej vyčistit. Čištění lapače probíhá tak, že se odpustí voda nad usazeným sedimentem. Následně se sediment přemístí za pomoci lopat do odpadního kontejneru nebo do jutového velkoobjemového vaku. Komfortnější pracoviště obsahují speciální sedimentační

(odkalovací) systém, bližší popis tohoto systému viz kapitola 2.6. Systém je složen z membránových čerpadel, které vodu s abrazivem odsají do propustných jutových velkoobjemových vaků, zde se zachytí všechny nečistoty kromě vody a ta je pomocí vratného čerpadla vhnána zpět do lapače³.

Tyto sedimentační systémy jsou dostatečnou hygienickou ochranou pro odpadní vody. Aby sedimentační systémy správně fungovaly, musíme pravidelně vyvážet sedimentační nádoby respektive zachytné jutové velkoobjemové vaky (viz obr. 5). Sedimentační systém zachycuje pouze těžké částice, které se v něm usadí. Neplní však funkci chemické čističky odpadních vod. V případě řezání hygienicky závadných materiálů, ze kterých dochází k výluze je systém doplněn o další vhodnou chemickou bariéru. Při běžném řezání k takovému jevu nedochází. Ať se jedná o systém s nebo bez odsávacích (membránových) čerpadel odchází pouze takové množství vody jaké do něj vstoupilo cca 2 až 8 l/min, je dáno podle dávkování vysokotlakého čerpadla (pumpy) a cca 2 l/min vody, které obsluha stroje použije k opláchnutí vyřezaných dílů³.

Použité abrazivo z lapače (vany) nebo z jutových zachytných vaků je tuhý odpad o vyšší vlhkosti. Platí pro něj stejná pravidla jako pro vodu odcházející do kanalizace. Pokud nejsou řezány hygienicky závadné materiály, může být abrazivo odvezeno na běžnou skládku pro stavební odpad³.



Obr. 5 Velkoobjemový jutový vak⁷.

1.7 Kvalita povrchu po řezu vysokotlakým hydroabrazivním paprskem

Hloubka řezu a kvalita povrchu řezu jsou závislé technologické parametry, které charakterizují účinky vysokotlakého vodního proudu na řezaný materiál. Povrch řezu charakterizuje drsnost plochy po řezu vysokotlakým vodním paprskem a zpevnění materiálu. Podle jakosti řezu dosahujeme různých středních aritmetických úchylek profilu, nejčastěji dosahuje Ra 3,2. Přesnost řezu je $\pm 0,2 \text{ mm}^1$.

1.8 Textura povrchu

Po vysokotlakém hydroabrazivním paprsku se na povrchu obrobku vytváří reliéf, který obsahuje dvě zřetelné oblasti podél stěny řezu, a jsou charakterizované rozdílnou texturou povrchu. Takto vzniklý reliéf se z hlediska kvality obrobené plochy rozděluje na horní konturu řezu a dolní konturu řezu, kde kvalita obrobené plochy se posuzuje pomocí parametru střední aritmetické úchylky profilu Ra ve svislém směru. Horní kontura řezu se

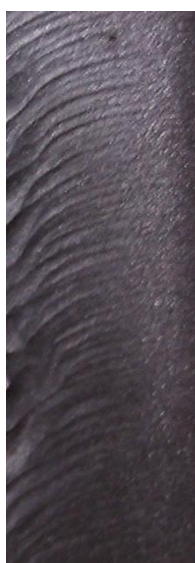
vyznačuje kvalitním povrchem a nižšími hodnotami střední aritmetické úchylky profilu R_a a naopak dolní kontura se vyznačuje méně kvalitním povrchem a vyznačuje se vyššími hodnotami střední aritmetické úchylky profilu R_a ¹.

Povrch po řezu vysokotlakým hydroabrazivním paprskem je závislý na posuvové rychlosti řezací hlavy. Na základě experimentu bylo zjištěno, že při nižších posuvových rychlostech se objevuje opotřebení materiálu v celém úseku a naopak se projevuje minimálně v oblasti deformačních zón, kde kazy a rýhy nejsou téměř neviditelné, paprsek se od skutečného směru vychyluje jen minimálně, např. řez kvality nejvyšší kvality Q1 (viz obr. 6)¹.



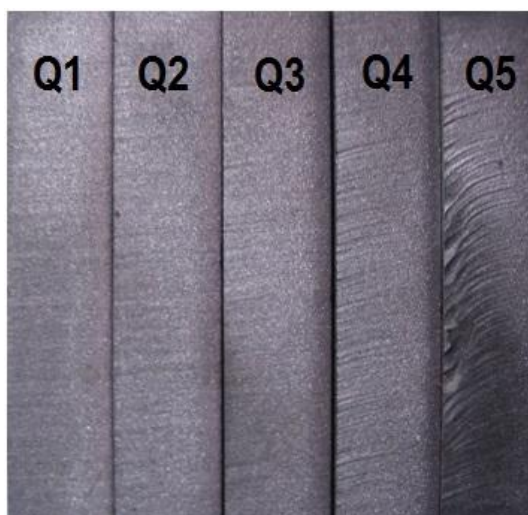
Obr. 6 Řez jakosti Q1.

Pokud se použije řez o vysokých posuvových rychlostech, tak je hloubka řezu tvořena ze dvou třetin zónou deformační a na povrchu se vytváří znatelné rýhy (kazy), které zasahují do tloušťky cca 2mm (viz obr. 7), odvíjejí se od tloušťky materiálu, např. řez nejhorší kvality Q5^{1,3}.



Obr. 7 Řez jakosti Q5.

U vysokotlakého hydroabrazivního paprsku je využito pět stupňů jakosti řezu (Q1 – Q5). Jednotlivé jakosti jsou zobrazeny na obr. 8, které jsou z vlastních vzorků, byly vyřezány vysokotlakým abrazivním hydroabrazivním paprskem a budou použity pro účely této práce. Jednotlivé rozdělení stupňů jakosti řezu je vyobrazeno v tab. 1.4, jedná se o tabulkové a teoretické hodnoty udávané výrobcem technologie.



Obr. 8 Jakosti Řezu Q1 – Q5.

Tab. 1.4 Jednotlivé stupně jakosti řezu vysokotlakým vodním paprskem a hodnoty Ra⁷.

Stupeň Jakosti řezu	Charakteristika	Ra v horní kontuře [μm]	Ra v dolní kontuře [μm]	Přesnost v horní kontuře [mm]	Přesnost v horní kontuře [mm]	Úkos
Q1	nejlepší řez	pod 3,2	cca 3,2	±0,1	±0,1	většinou mírný podřez
Q2	kvalitní řez	cca 3,2	cca 6,2	±0,1	±0,1	většinou minimální
Q3	střední řez	cca 4,0	cca 12,5	±0,15	dle typu a síly materiálu	dle typu a síly materiálu
Q4	hrubý řez	cca 4,0	do 25	±0,2	dle typu a síly materiálu	dle typu a síly materiálu
Q5	dělicí řez	4,0 – 6,3	do 40	±0,2	dle typu a síly materiálu	výrazný úkos do +

Označení jakostí řezů se liší podle výrobce technologie a firmy, která technologii vlastní. V případě firmy Rychlý Tom u nichž je práce zpracována je rozdělení takové, že nejlepší řez je Q1 a nejhorší řez Q5. Na druhou stránku u firmy PTV je rozdělení jakostí řezu naopak, nejlepší řez je Q5 a nejhorší řez Q1.

Pro srovnání tabulkových a teoretických hodnot střední aritmetické úchyly profilu Ra v horní a dolní textuře u jednotlivých jakostí řezu, byly vyřezány vzorky o jakosti řezu Q1 – Q5. Jedná se o vzorky o rozměrech 40x40 mm (viz příloha č. 3). Jsou vyřezány z oceli o jakosti 17 240 a tloušťce 8 mm. Bližší informace o řezu vzorků je v kapitole 4 (Výroba součástí).

Aby mohly být vzorky v jakostech Q1 – Q5 a jejich hodnoty střední aritmetické úchyly profilu Ra v horní a dolní kontuře srovnány s tabulkovými a teoretickými hodnotami byly poměřeny personálem na Ústavu strojírenské metrologie přístroji Perthometer Mahr 2 a Talysurf CCI Lite. Jednotlivé metody měření budou rozebrány v kapitolách 1.8 přístroj Perthometer Mahr 2 a 1.9 přístroj Talysurf CCI Lite. Vzorky byly měřeny ve dvou místech a to v horní a dolní kontuře na řezném povrchu (měřené místo je označené šipkou) a následně byly vyhodnoceny hodnoty střední aritmetické úchyly profilu Ra, které byly zapsány do tab. 1.5 hodnoty neměřené přístrojem Perthometer Mahr 2 a tab. 1.6 hodnoty naměřené přístrojem Talysurf CCI Lite.

Tab. 1.5 Jednotlivé stupně jakosti řezu vysokotlakým abrazivním vodním paprskem a hodnoty Ra měřené přístrojem Perthometer Mahr 2.

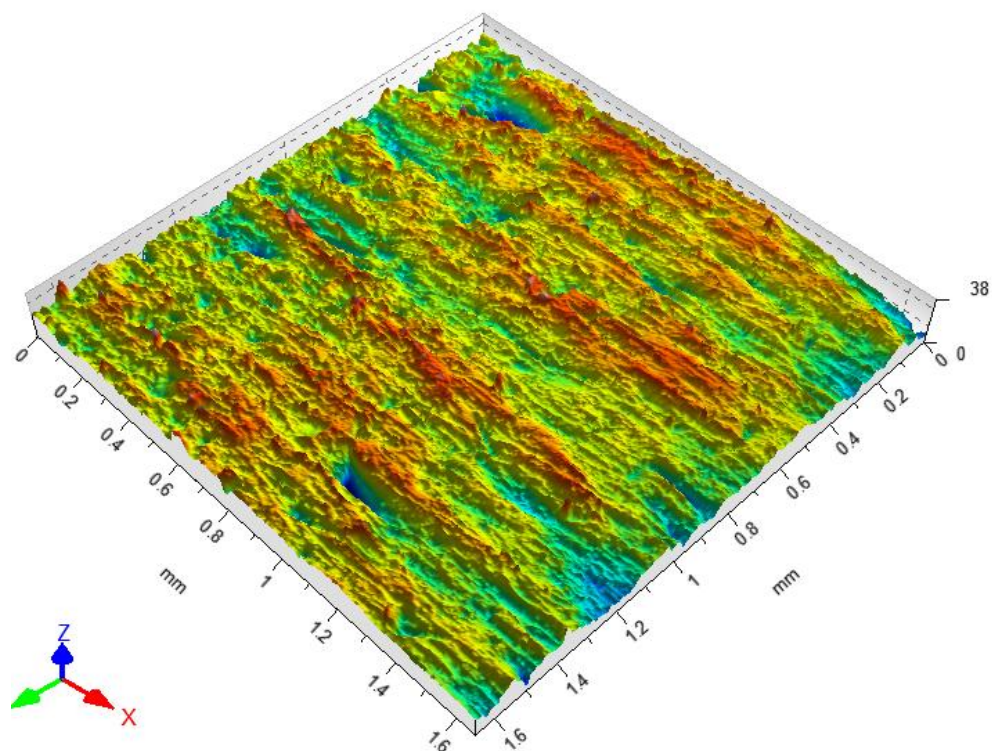
Stupeň Jakosti řezu	Charakteristika	Ra v horní kontuře [μm]	Ra v dolní kontuře [μm]	Přesnost v horní kontuře [mm]	Přesnost v horní kontuře [mm]	Úkos
Q1	nejlepší řez	2,95	3,31	±0,1	±0,1	většinou mírný podřez
Q2	kvalitní řez	3,22	3,59	±0,1	±0,1	většinou minimální
Q3	střední řez	3,28	4,29	±0,15	dle typu a síly materiálu	dle typu a síly materiálu
Q4	hrubý řez	3,82	4,64	±0,2	dle typu a síly materiálu	dle typu a síly materiálu
Q5	dělicí řez	3,97	8,49	±0,2	dle typu a síly materiálu	výrazný úkos do +

Naměřené hodnoty střední aritmetické úchyly profilu Ra přístrojem Perthometer Mahr 2 na vzorcích o jakostech řezu Q1 – Q5 se od tabulkových a teoretických hodnot udané výrobcem v horní a dolní kontuře liší v řádu desetin μm u řezů v jakostech Q1 – Q3. U jakostí řezu Q4 – Q5 se naměřené hodnoty střední aritmetické úchyly profilu Ra v dolní kontuře liší v řádu desítek μm, protože nebyly měřeny ty nejhorší místa řezu z důvodu, aby nedošlo k poškození měřicího čidla přístroje Perthometer Mahr 2.

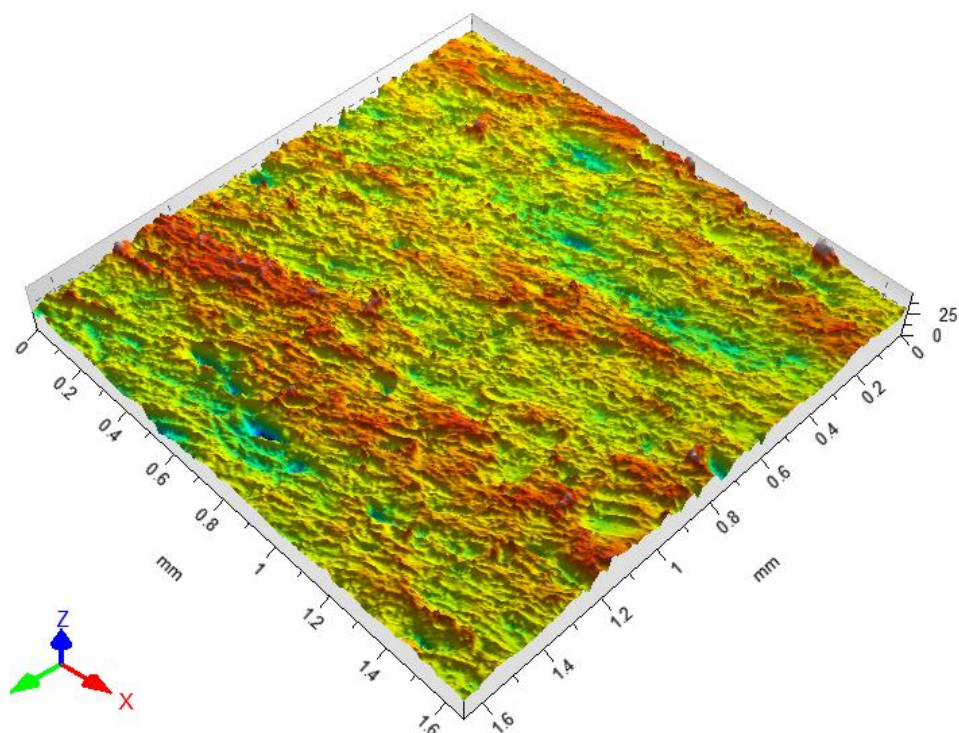
Tab. 1.6 Jednotlivé stupně jakosti řezu vysokotlakým abrazivním vodním paprskem a hodnoty Ra měřené přístrojem Talysurf CCI Lite.

Stupeň Jakosti řezu	Charakteristika	Ra v horní kontuře [μm]	Ra v dolní kontuře [μm]	Přesnost v horní kontuře [mm]	Přesnost v horní kontuře [mm]	Úkos
Q1	nejlepší řez	2,83	3,47	±0,1	±0,1	většinou mírný podřez
Q2	kvalitní řez	3,57	3,80	±0,1	±0,1	většinou minimální
Q3	střední řez	3,87	4,36	±0,15	dle typu a síly materiálu	dle typu a síly materiálu
Q4	hrubý řez	4,11	5,03	±0,2	dle typu a síly materiálu	dle typu a síly materiálu
Q5	dělicí řez	4,49	16,17	±0,2	dle typu a síly materiálu	výrazný úkos do +

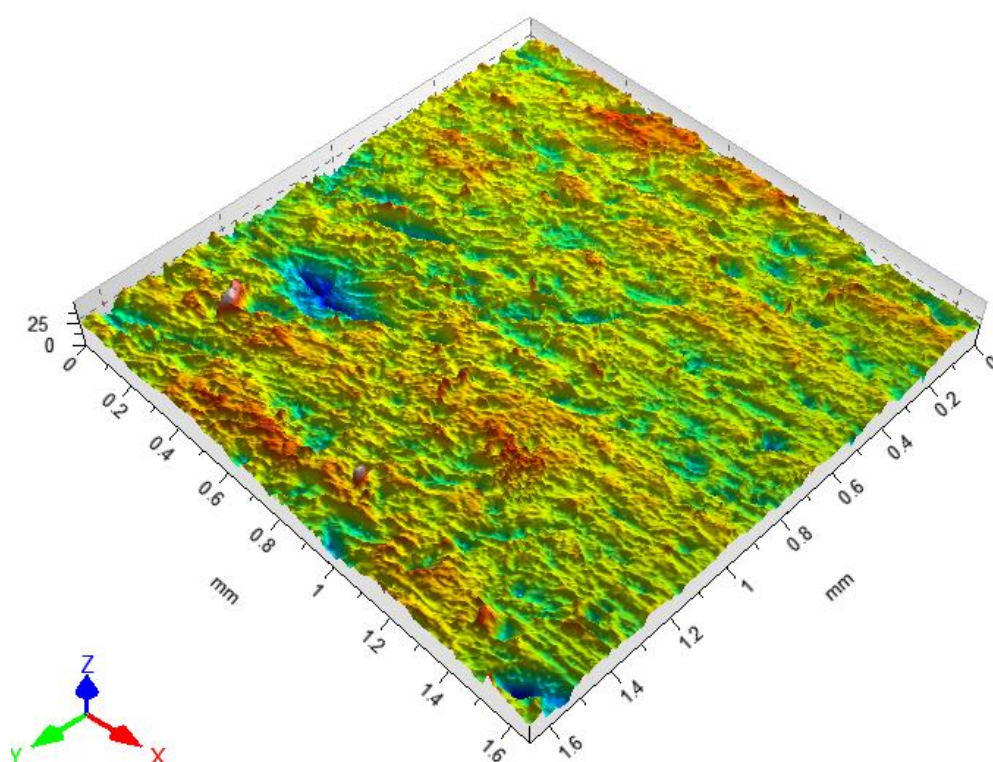
Využitím přístroje Talysurf CCI Lite, který využívá Koherentní korelační interferenci, byly u jednotlivých vzorků o jakostech řezu Q1 – Q5 naměřeny hodnoty střední aritmetické úchyly profilu Ra v horní a dolní kontuře a zároveň byl udělán snímek textury povrchu jednotlivé kontury. Při jednom měření bylo změřeno místo o velikosti 1,6x1,6 mm. Všechny jsou porovnané s tabulkovými a teoretickými hodnotami střední aritmetické úchyly profilu Ra. U řezu jakosti Q1 v horní kontuře se hodnota Ra liší v řádu desetin μm, snímek textury povrchu je na obr. 9, v dolní kontuře se hodnota Ra liší cca v řádu dvou desetin μm, snímek textury povrchu je vyobrazen na obr. 10. Jakost řezu Q2, hodnoty horní kontury (viz obr. 11) se liší v řádu desetin μm, dolní kontura (viz obr. 12) se liší o jednotky μm, protože není měřeno to nejhorší místo povrchu řezu. Řez o jakosti Q3 se v horní kontuře liší (viz obr. 13) v řádu desetin μm a dolní kontura (viz obr. 14) se liší v řádu jednotek μm. Následující jakost řezu Q4 se v horní kontuře (viz obr. 15) liší zanedbatelně v řádu desetin μm, dolní kontura (viz obr. 16) se liší markantně až o 5-ti násobek μm. Není možné měřit úplně to nejhorší místo, protože paprsky se na povrchu řezu odrážejí mimo objektiv, vzniklo by velké množství neměřených bodů a naměřily by se hodnoty velice nepřesné. V poslední řadě řez o jakosti řezu Q5 horní kontura (viz obr. 17) se liší v řádu dvou jednotek μm, spodní kontura (obr. 18) se liší v řádu desítek μm, stejně tak jako o jakosti Q4 nebyly měřeny úplně ty nejhorší místa. V dolní kontuře byla naměřena hodnota střední aritmetické úchyly profilu Ra 16,17 μm. Nepřesnost řezu je způsobena vysokými posuvovými rychlostmi, dochází k vychylování paprsku a na řezném povrchu se vytváří rýhy až do hloubky 2 mm, které jsou dobře viditelné snímku textury povrchu (viz obr. 18). Nejhlubší místo je na snímků textury povrchu řezu tmavě modrou barvou.



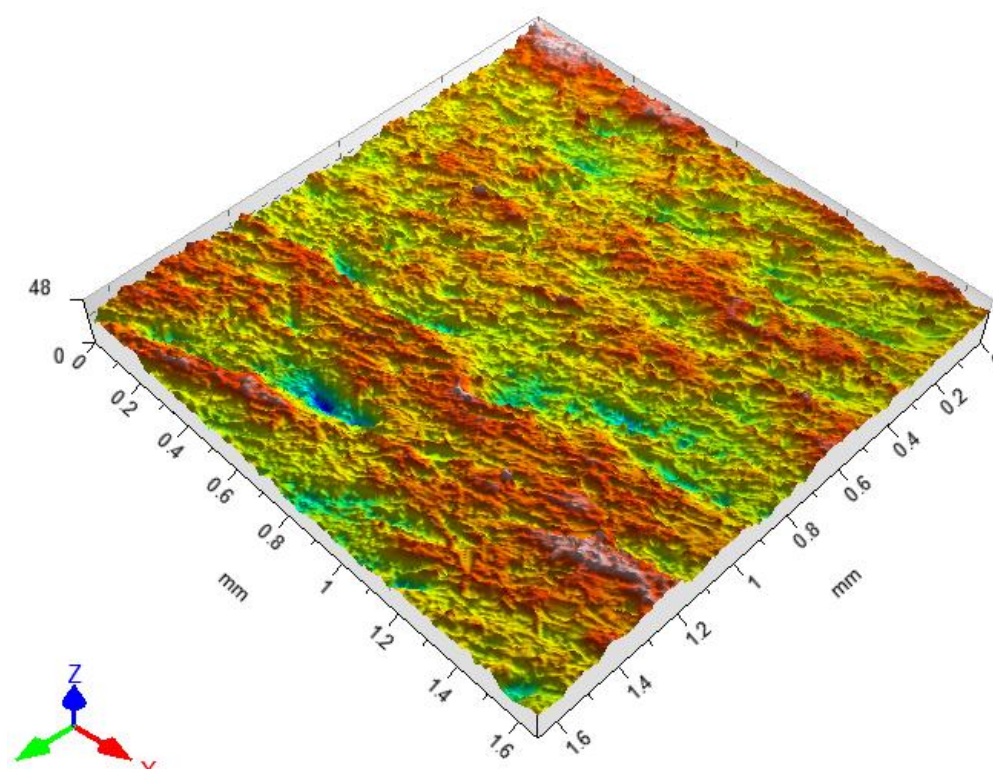
Obr. 9 Horní kontura řezu Q1.



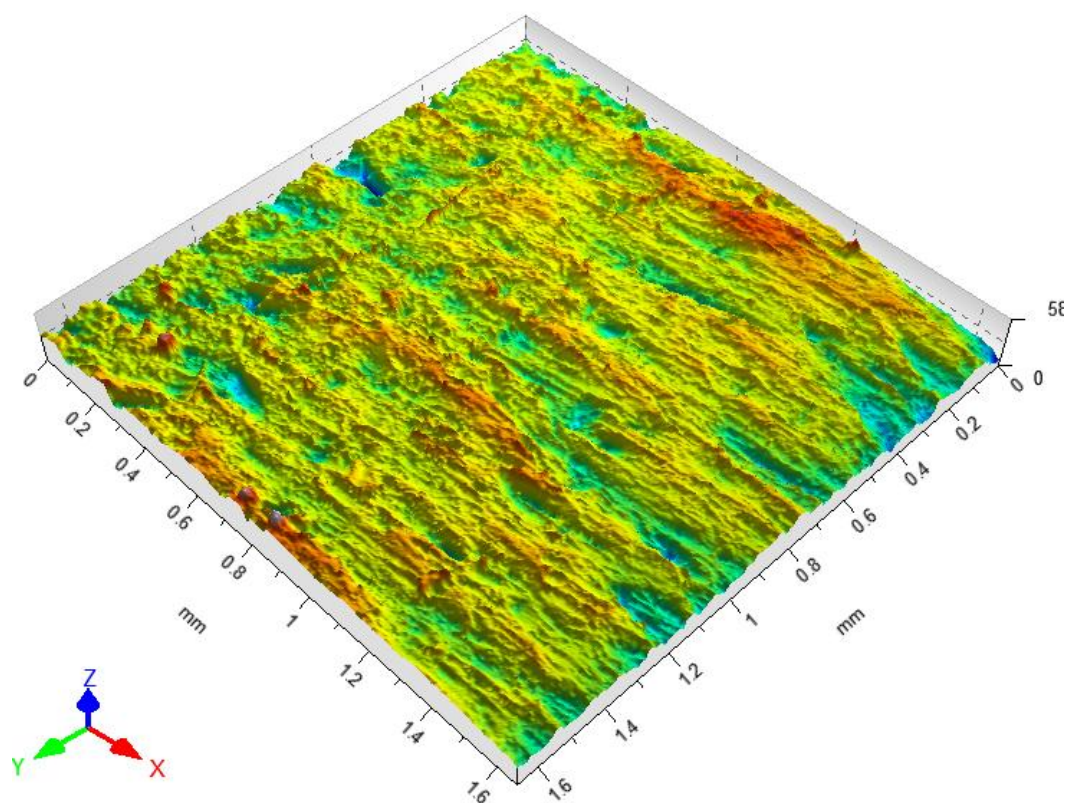
Obr. 10 Dolní kontura řezu Q1.



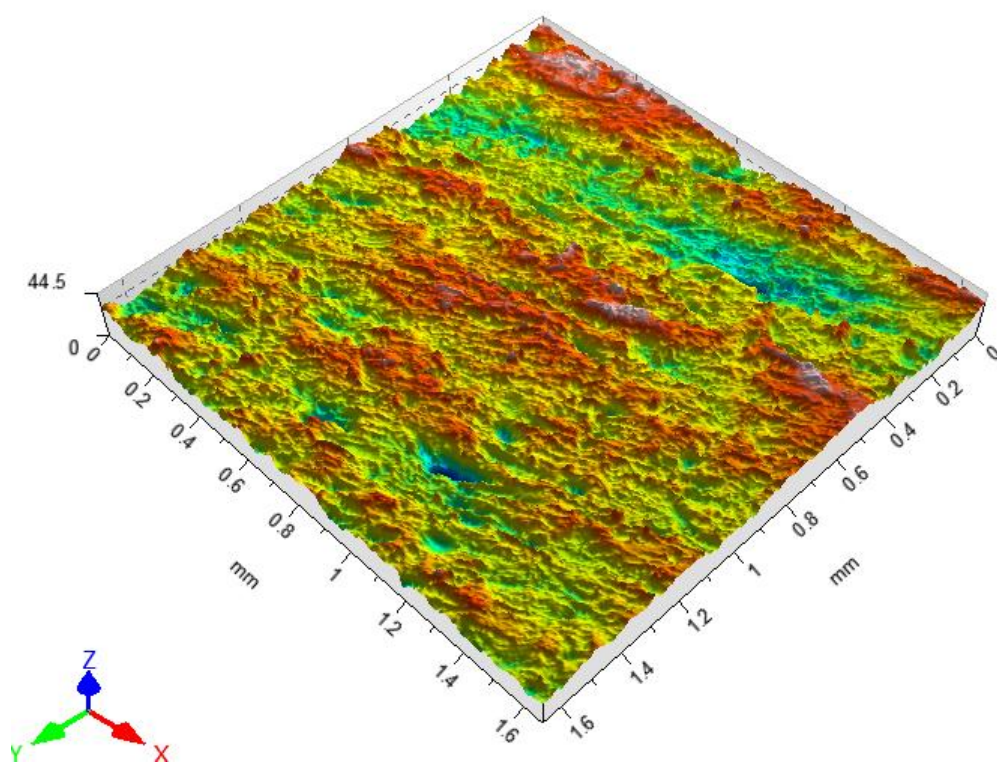
Obr. 11 Horní kontura řezu Q2.



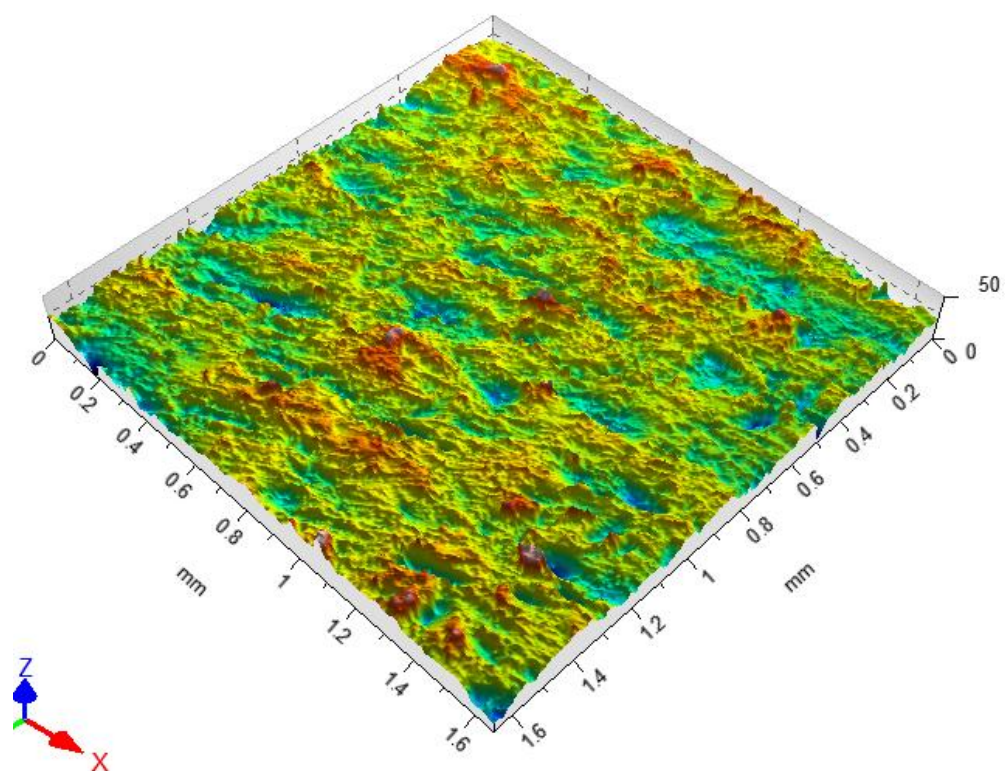
Obr. 12 Dolní kontura řezu Q2.



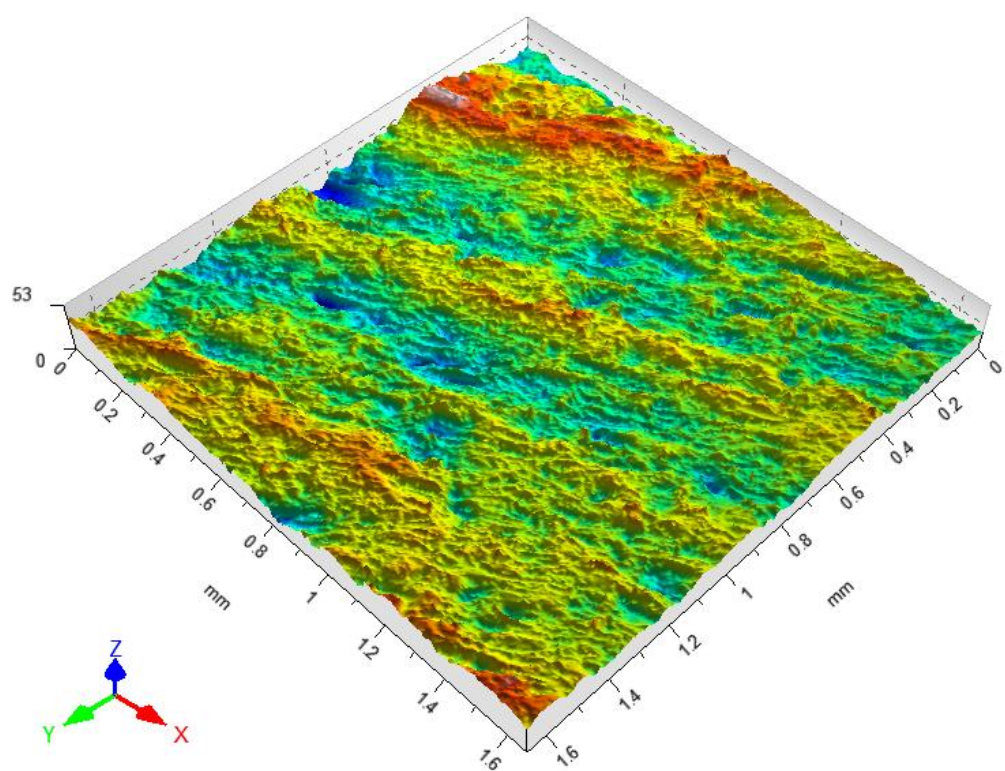
Obr. 13 Horní kontura řezu Q3.



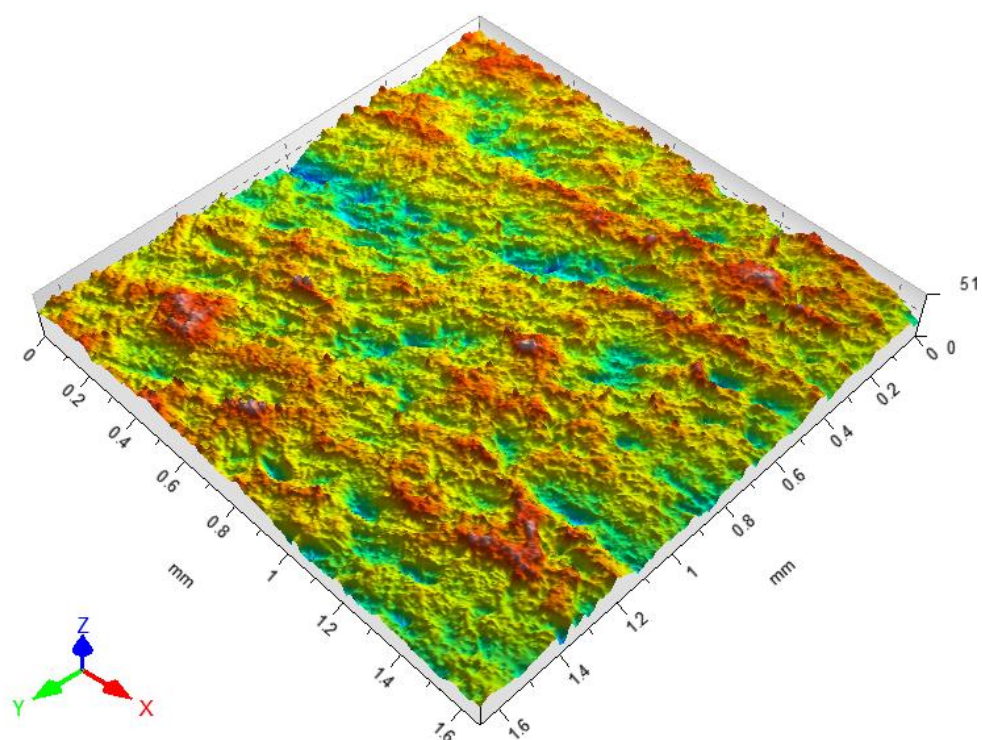
Obr. 14 Dolní kontura řezu Q3.



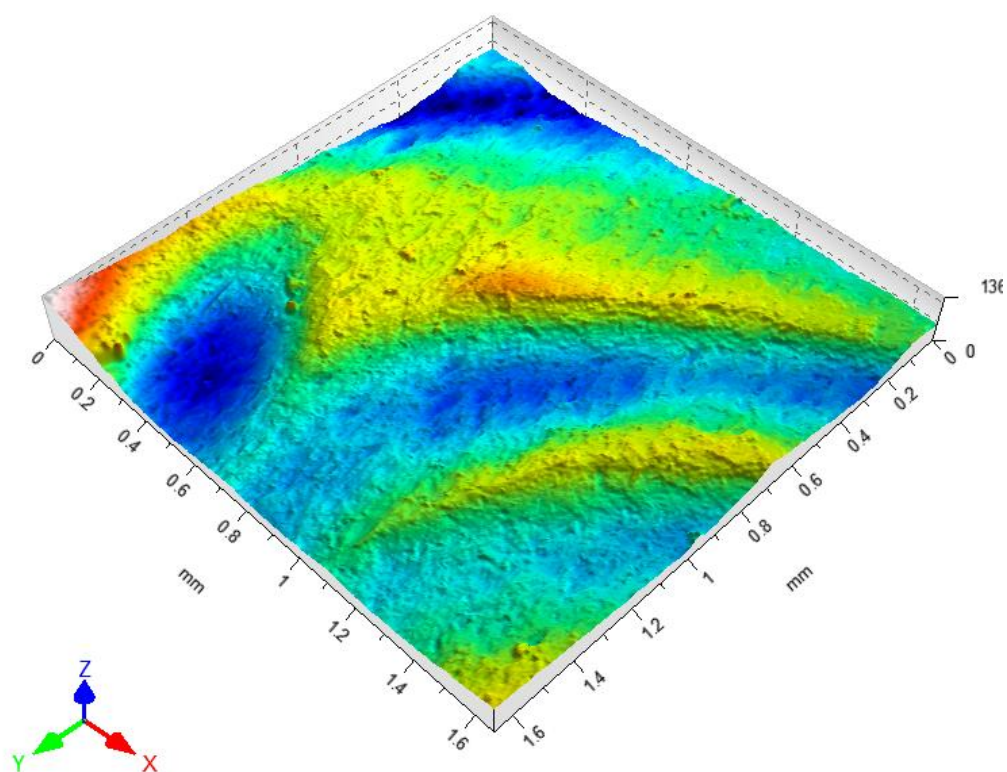
Obr. 15 Horní kontura řezu Q4.



Obr. 16 Dolní kontura řezu Q4.



Obr. 17 Horní kontura řezu Q5.



Obr. 18 Dolní kontura řezu Q5.

1.8 Perthometer Mahr 2

Perthometer Mahr 2 (viz obr. 19) je drsnoměr pro mobilní nasazení ve výrobních podmínkách. Měřicí rozsah je 100 μm . Snadno se obsluhuje a odpovídá DIN EN ISO 3274. Dotyková metoda s posuvovým přístrojem PFM je možné bez seřizování ve všech polohách. Hodnota cutoff (dle ISO/JIS) 0,250 – 0,800 mm.



Obr. 19 Perthometer Mahr 2.

1.9 Talysurf CCI Lite

Talysurf CCI Lite (viz obr. 20) je ultrapřesný stolní 3D automatický optický měřicí systém, který přináší spolehlivé výsledky a vysoký výkon, ať se jedná o výrobní či výzkumné aplikace. Přístroj využívá korelační algoritmus k vyhledání koherentních vrcholů a fázové polohy interferenčního modelu, vytvořeného přesnou optickou jednotkou. Tyto zařízení jsou schopné nabídnout věrný topografický obraz povrchu z rozlišení 0,01 nm v Z – ose a v celém snímaném rozsahu. Jedná se o velice univerzální přístroj, jehož je možno použít pro leštěné, hrubé, zakřivené, rovné nebo stupňovité povrchy s odrazivostí 0,3 až 100 %. Lze měřit všechny druhy materiálů od kovů, polymerů až po tekuté inkousty a sklo¹⁶.

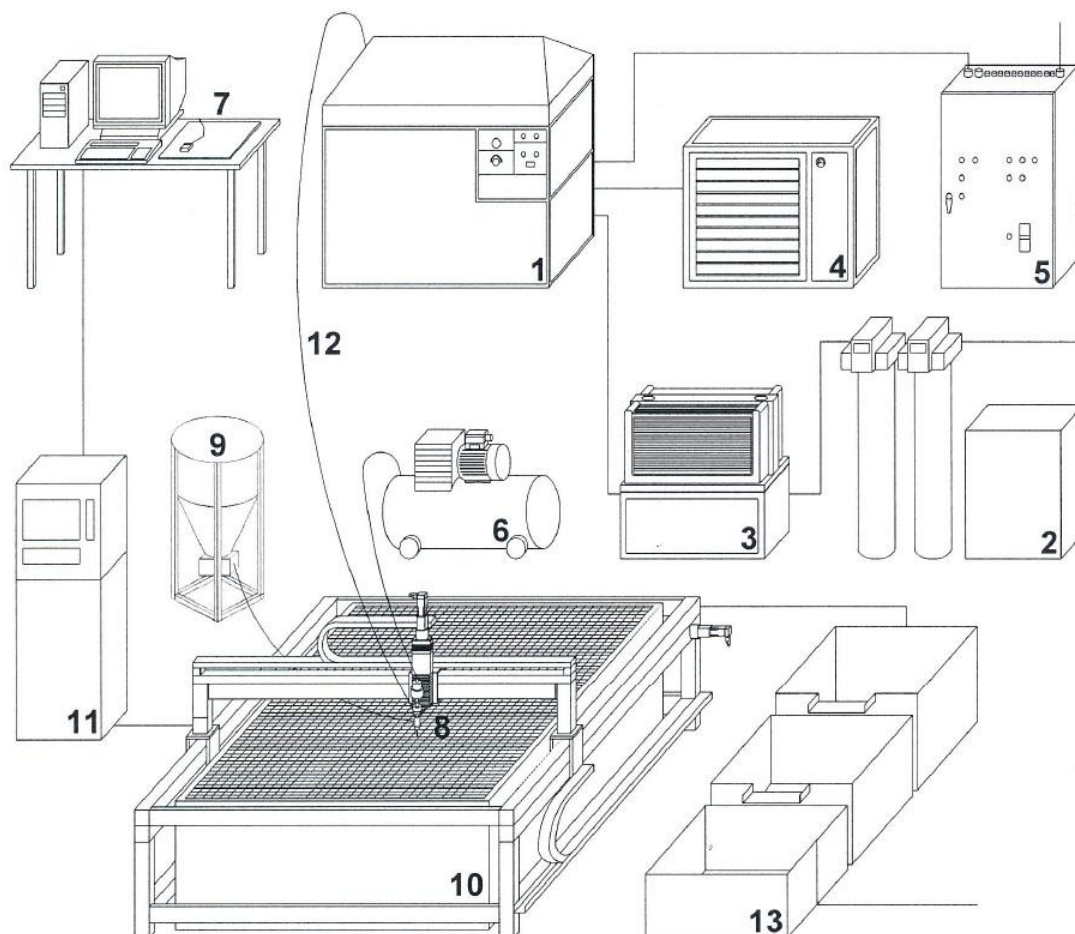
Koherentní korelační interference funguje tak, že horní rozdělovač paprsku vede bílé světlo ze zdroje směrem k čočce objektivu. Polopropustné zrcadlo, které je umístěno rozděluje světlo do dvou paprsků. Každý paprsek putuje jinou cestou, referenční paprsek míří na malé rovinné zrcadlo na spodní straně čočky objektivu a měřicí paprsek míří na povrch měřeného objektu. Oba odražené paprsky se následně mísí a interferují na ploše CCD snímače. K interferenci dochází za předpokladu, že obě cesty mají stejnou vlnovou délku¹⁶.



Obr. 20 Talysurf CCI Lite.

2 POPIS ČÁSTÍ VYSOKOTLAKÉHO HYDROABRAZIVNÍHO PAPRSKU

Technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku se skládá z několika částí, které jsou zobrazeny na schématu na obr. 21. Jednotlivé komponenty budou popsány podrobně v podkapitolách této kapitoly.



Obr. 21 Schéma technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku ³.

Legenda k obr. 21:

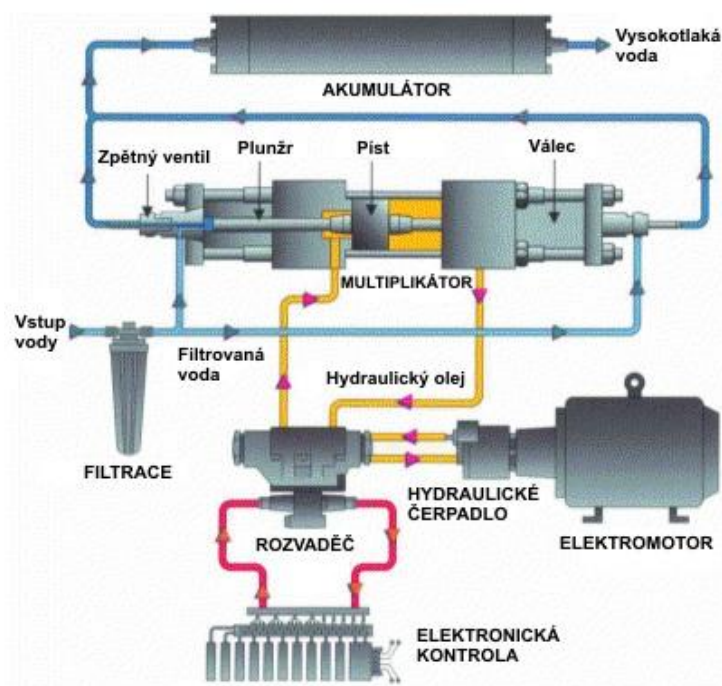
- 1 Vysokotlaké vodní čerpadlo
- 2 Změkčovací jednotka
- 3 Filtrační jednotka
- 4 Chladicí jednotka
- 5 Elektrorozvaděč
- 6 Kompresor
- 7 Pracoviště přípravy dat
- 8 Řezací hlava
- 9 Dávkořad abrasiva
- 10 X-Y řezací CNC stůl
- 11 Řídicí systém CNC stolu
- 12 Vysokotlaké potrubí
- 13 Sedimentační systém

2.1 Vysokotlaké vodní čerpadlo

Jde o zařízení, které generuje vysokotlaký paprsek o tlaku 4 135 až 6 200 bar (viz obr. 22). Čerpadlo je složeno z několika funkčních součástí, které jsou vyobrazeny na schématu vysokotlakého čerpadla na obr. 23.



Obr. 22 Vysokotlaké vodní čerpadlo¹⁷.



Obr. 23 Schéma vysokotlakého vodního čerpadla¹⁸.

2.1.1 Hydraulické čerpadlo

Hydraulické čerpadlo je poháněno elektromotorem, který má velký příkon cca 55 kW, stlačí olej na tlak až 20 MPa a žene jej do multiplikátoru. Pomocí hydraulického zařízení s multiplikátorem nebo triplexovým plunžrem se generuje vysokotlaký vodní paprsek⁷.

2.1.2 Multiplikátor

Multiplikátor (viz obr. 24) pracuje na principu dvou spojených pístů. Převádí tlak oleje o velikosti 20 MPa na vysoký tlak vody, jehož hodnota dosahuje až hodnoty 6200 bar, záleží

na poměru pracovních ploch multiplikátoru. Přes elektronický řízený rozvaděč je olej přiváděn na jednu činnou plochu pístu. Jakmile dojde k posunutí pístu do úvrati, dojde k sepnutí koncového spínače, který je propojen s rozvaděčem. Rozvaděč přepne tok hydraulického oleje do druhé větve a dojde tak k působení oleje na druhou činnou plochu pístu a to vyvolá posun pístu v opačném směru. Při stlačování kapaliny na jedné straně multiplikátoru, dochází na druhé straně k nasávání čisté, přefiltrované a změkčené vody. Následovně dochází k obrácení směru pohybu pístu a to způsobí vytlačení vody z této strany. Tento proces se neustále opakuje^{4,12}.

Množství vody, které je spotřebováno je ovlivněno použitou vodní a abrazivní tryskou a vysokotlakým vodním čerpadlem, spotřeba vody se pohybuje od 2,8 až 5,4 l·m⁻¹



Obr. 24 Multiplikátor⁷.

Výpočet výstupního tlaku pro dvojčinné multiplikátory⁸:

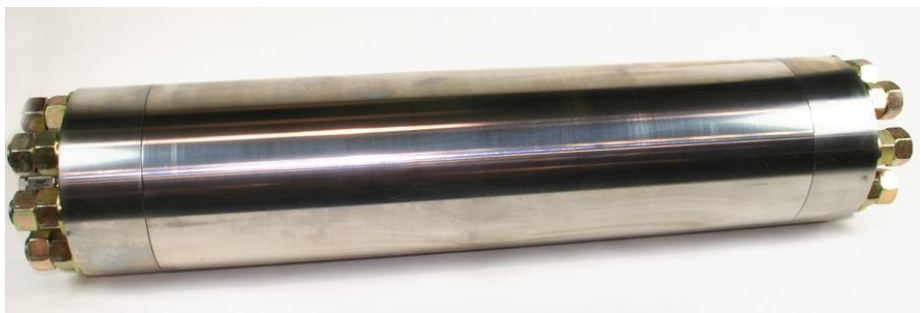
$$p_2 = \frac{S_1 - S_2}{S_2} \cdot p_1 \text{ [Pa]} \quad (1)$$

kde: S_1 [mm²] - plocha pístu 1,
 S_2 [mm²] - plocha pístu 2,
 p_1 [Pa] - tlak v multiplikátoru vyvolaný pístem 1,
 p_2 [Pa] - tlak v multiplikátoru vyvolaný pístem 2.

2.1.3 Akumulátor (vyrovnávací válec)

Akumulátor (viz obr. 25) jde o tlakovou tlustostěnnou nádobu, která tlumí rázy vody vznikající v multiplikátoru, je nejdůležitější částí nacházející se ve vysokotlakém okruhu. Má za úkol zajištění konstantního tlaku a rychlosti proudící vody. Akumulátor zajišťuje rovnoměrnou dodávku vody v okamžiku, kdy píst čerpadla přechází z jedné úvrati do druhé úvrati. Pokud by vysokotlaké čerpadlo neobsahovalo akumulátor docházelo by k nepravidelné dávce vody a následné zanechání rýh na povrchu řezaného materiálu^{4,12}.

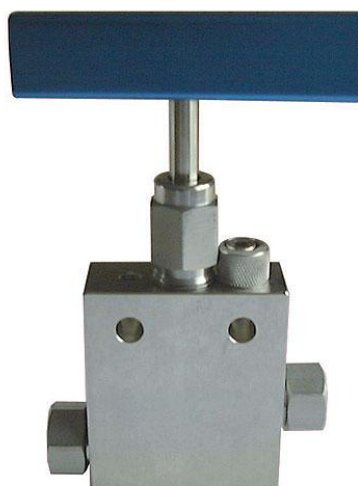
Akumulátor je upravován autofretáží, což je proces, kdy je nádoba přetlakována tak, aby nedošlo k vytvoření plastických deformací v materiálu, zpravidla na hranici makro vad. V těchto místech dochází ke koncentraci napětí a zpevnění. Nárazovým přetížením tlakové nádoby dojde k zamezení růstu mikrotrhlin a makrotrhlin¹².



Obr. 25 Akumulátor.

2.1.3 Uzavírací vysokotlaký ventil

Ventil (viz obr. 26), který je instalován na vysokotlakém potrubí umožňuje přerušení průtoku vysokotlaké vody při servisních zásazích a je výhradně instalován z bezpečnostních důvodů. Ovládání je výhradně manuální.

Obr. 26 Vysokotlaký ventil¹⁹.

2.1.4 Vysokotlaké potrubí

Vysokotlaké potrubí musí odolat vysokým tlakům, dynamické zátěži v systému a vlastnostem řezné kapaliny. V tomto potrubí o vnějším průměru do 20 mm a vnitřním do 7 mm (viz příloha č. 4) se dopravují vysokotlaké kapaliny až o tlaku 6200 bar. Tato potrubí jsou vyrobena z vysokopevnostních korozivzdorných materiálů, jako jsou např. austenitické oceli třídy 17, především ocel 17 351⁸.

2.1.5 Změkčovací jednotka

Změkčovací jednotka (viz obr. 27) se skládá z nádoby s pryskyřicí, nádoby se slanou vodou a kontrolní záklopy. Voda protéká přes pryskyřičné řečiště, jedná se o plastický materiál, který obsahuje miliony malých zrněk. Kladně nabitý náboje (vápník a hořčík) jsou při přechodu skrz zrnka přitahovány a zadrženy záporně nabitými částmi pórovitých pryskyřičných zrněk. Voda změkčená obsahuje sodík, protože sodíkové ionty na zrnkách jsou uvolněné z vypuštěné vody. Celkové uvolnění množství sodíku odpovídá množství vápníku a hořčíku⁸.

Obr. 27 Změkčovací jednotka²⁰.

2.1.6 Filtry

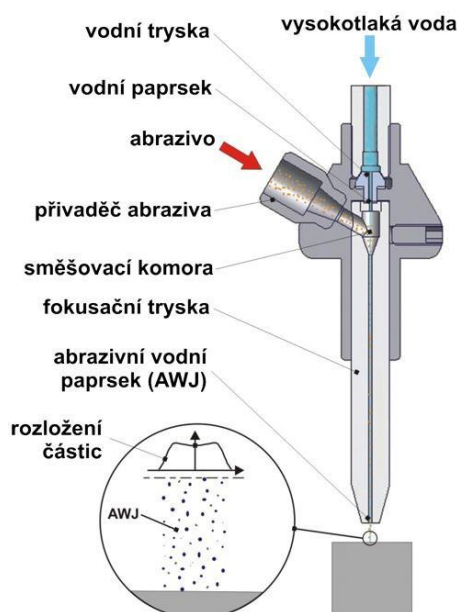
Filtry slouží k filtraci vody, zachycují nečistoty o velikosti 0,5 až 10 μm . Nejvíce se používá hloubkový filtr, který se skládá ze 4 vrstev. První vrstva zachycuje velké částice. Dále druhá vrstva zachycuje jemnější částice a nejjemnější částice zachycuje vrstva čtvrtá. Hloubkový filtr (viz obr. 28) zachytává částice až o velikosti 10 μm . Čistění filtru probíhá tak, že částice se vyplaví z nádržky zpětným propláchnutím a poté je filtr připraven k plnému používání. Množství vody, které je potřebné k řezání vysokotlakým vodním paprskem ovlivňuje velikost hloubkového filtru. Hloubka filtru je v rozmezí od 150 do 2500 mm⁸.

Obr. 28 Hloubkový filtr²¹.

2.2 Řezací hlava

Řezací hlava (viz obr. 29) patří mezi jednu z nejdůležitějších součástí zařízení a slouží k upevnění trysky. Společně s vysokotlakým čerpadlem a soustavou vodní a abrazivní trysky dodávají samotné technologii efektivitu. Převádí vysokotlakou vodu na řezný nástroj, ovlivňuje kvalitu vodního paprsku a kvalitu řezu. Řezací hlavy (viz příloha č. 5) jsou výrobci neustále vylepšovány. Cílem je dosáhnout co nejdůkladnějšího promíchání abraziva s vodním paprskem. Tento turbulentní jev je obtížné sledovat z blízka, protože

probíhá při velkých rychlostech paprsku, částice abraziva jsou poměrně malé, voda tvoří kolem paprsku vodní clonu, přes kterou nejde vidět^{4,12}.



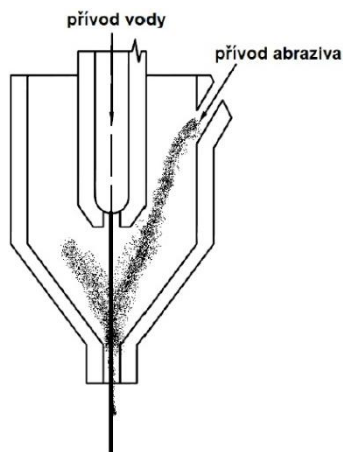
Obr. 29 Řezací hlava³.

2.2.1 Směšovací komora

Využívají se dva druhy směšovací komor pro mísení abraziva s vodou. Směšovací komora s bočním přívodem abraziva a s centrálním přívodem abraziva. Abrazivo se ve směšovací komoře libovolně smíchá s vysokotlakou vodou a potom přechází skrz směšovací trysku, která má průměr otvoru od 0,75 do 2,5 mm⁴.

2.2.2 Směšovací komora s bočním přívodem abraziva

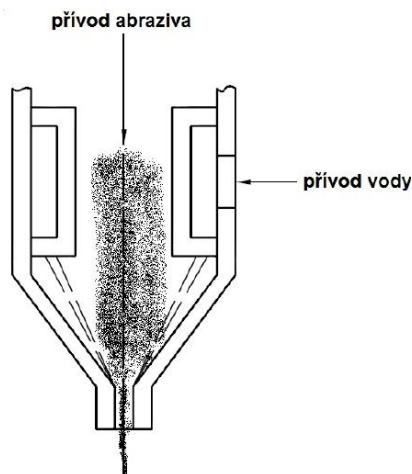
U řezací hlavy s bočním přívodem abraziva (viz obr. 30) je abrazivo ze zásobníku vedeno do směšovací komory, kde je abrazivo vysokotlakým vodním paprskem strháváno a urychlováno. Při tomto systému se využívá na smíchání a následné vytvoření vysokotlakého hydroabrazivního. Využívané tlaky se pohybují do 6200 bar a dávkování abraziva se pohybuje v rozmezí 0 – 400 g/min. Systém řezací hlavy s bočním přívodem abraziva se používá k dělení materiálů⁴.



Obr. 30 Řezací hlava s bočním přívodem abraziva⁴.

2.2.3 Směšovací komora s centrálním přívodem abraziva

V případě řezací hlavy s centrálním přívodem abraziva (viz obr. 31) se do směšovací komory přivádí axiálně vysokotlaká voda. Tento způsob abraziva přívodu abraziva zlepšuje jeho smíchání s vodou a tím se zmenšuje opotřebení obvodu komory. Použité tlaky se pohybují do 1000 bar. Používá se k odstraňování starých nátěrů a čištění potrubí⁴.



Obr. 31 Řezací hlava s centrálním přívodem abraziva⁴.

2.2.4 Trysky

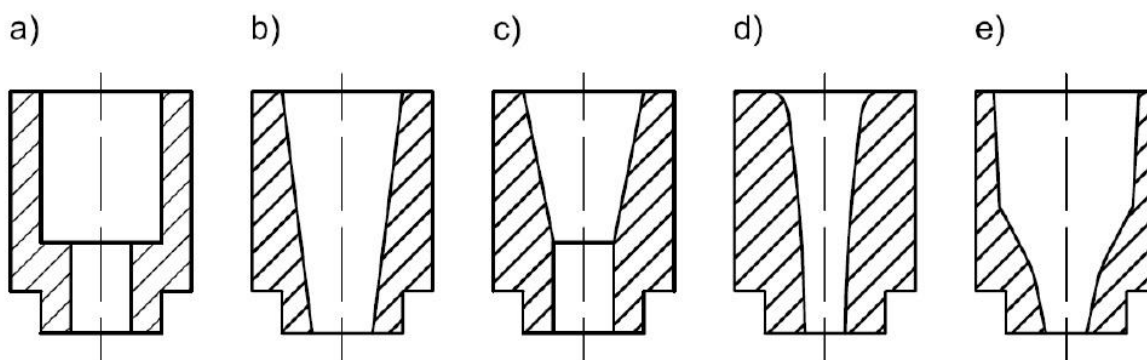
Vedle řezací hlavy patří mezi nejdůležitější části zařízení. Trysky přímo ovlivňují kvalitu vodního paprsku a tím i kvalitu řezu. Pro řez vodním paprskem se používají dva druhy trysek:

- trysky na řezání čistou vodou,
- trysky na řezání hydroabrazivním paprskem⁸.

2.2.5 Trysky na řezání čistou vodou

Trysky pro řez čistou vodou mají vnitřní část trysky s výtokovým otvorem (štěrbínou), která má průměr od 0,075 mm, většinou se vyrábí z karbidu nebo safíru. V dnešní době se používají trysky z diamantu, který má několika násobně vyšší pracovní životnost. Tryska z diamantu je až 10 krát dražší než tryska korundová nebo safírová. Průměrná pracovní doba safírové trysky se pohybuje okolo 200 hodin, po této době se otvor v trysce zanesne nečistotami a minerálními usazeninami vody a tryska se musí vyměnit za novou. Naopak diamantová tryska se usazení nemusí vyměnit za novou, stačit ji pouze vyčistit a následně může produkovat vysokotlaký paprsek⁴.

Vodní tryška má velice malé rozměry, vodní paprsek dosahuje vysokých rychlostí, proto je třeba věnovat pozornost při výrobě na dodržení souososti s drsností vnitřního povrchu. Paprsek z trysky vychází o rychlostech 300 až 1400 m·s⁻¹. Pro práci s různými pracovními tlaky a různými médii, se vyrábějí různé tvary trysek (viz obr. 32)⁸.



Obr. 32 Tvary trysek a) válcová b) kuželová c) kombinovaná d) konická e) složená⁸.

2.2.6 Trysky na řezání hydroabrazivním paprskem

Tyto trysky (viz obr. 33) udávají vystupujícímu paprsku konečný tvar. Jedním z mála požadavků na trysku je vysoká otěruvzdornost, kvůli čemuž je tryška vyráběna práškovou metalurgií z kubického nitridu boru a z karbidu wolframu. Tyto zmíněné otěruvzdorné materiály přispívají k vyšší životnosti a spolehlivosti trysky a v neposlední řadě k stabilnějšímu řezacímu procesu⁷.

Vnitřní stěny výstupní abrazivní trysky se během řezání opotřebávají nárazy abraziva, přičemž dochází ke tření a tím k poklesu energie paprsku. S pokrokem a vývojem je dnes snaha vytvářet a používat materiály, které jsou vůči těmto opotřebením imunní. Tvar výstupního otvoru v trysce má vliv na kvalitu řezání. Jakmile dojde ke změně tvaru otvoru trysky, tak dochází k řezným nepřesnostem, které jsou nepřijatelné⁷.



Obr. 33 Abrazivní tryška

2.3 Kompresor

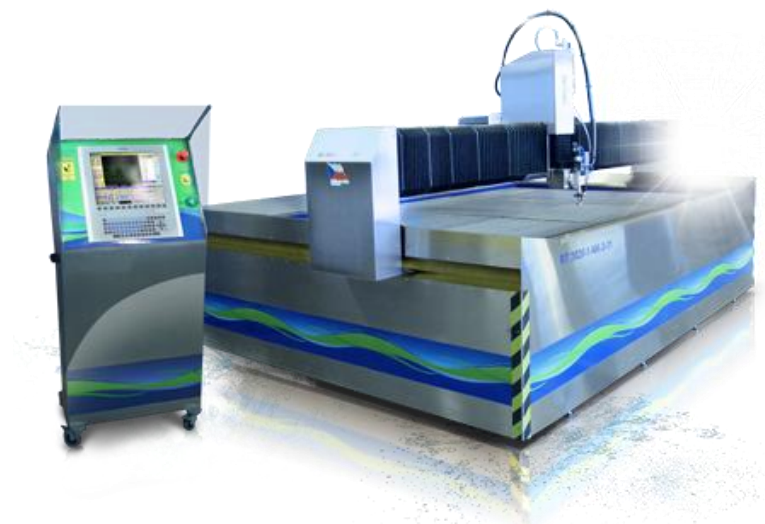
Kompresor s dostatečným zásobníkem na stlačený vzduch je nedílnou součástí každé technologie pro řez vysokotlakým hydroabrazivním paprskem. Mezi základní části kompresoru patří odlučovač oleje a vlhkosti. Pro hlučnost kompresoru je vhodné jej umístit do zvláštní místnosti. Velice výhodné je umístit kompresor společně s vysokotlakým čerpadlem (pumpou). Pokud firma disponuje více zařízeními, které potřebují stlačený vzduch, musíme tento faktor zohlednit při výběru kompresoru^{3,22}.

2.4 CNC řezací stůl

Pracovní plocha stolu je vyrobena nerezavějící nebo oceli Tř. 11, má velice pevnou a tuhou konstrukci. Řezací stůl (viz obr. 34) musí mít velkou nosnost, protože tloušťky řezaných materiálů jsou až 250 mm. Jedná se v zjednodušeném smyslu o železný rošt, na který se umístí obráběný materiál. Je dodáván v nejrůznějších rozměrech dle přání zákazníka, délka se pohybuje v rozmezí 3000 až 18000 mm a šířka 1500 až 5000 mm³.

Řezná plocha stolu je součástí lapače vodního parsku, který slouží k zachytávání použitého abraziva a materiálu, který vzniká při dělení obrobku (třísek). Většinou to jsou nádrže z ocelové konstrukce o výšce 800 mm. Rozměry lapače se odvíjí od rozměrů a typu stroje³.

Existuje řada různých konstrukčních řešení lapačů, ve většině případů jde hlavně o minimalizaci rozměru a hmotnosti. Cílem lapačů je zachycení celého objemu produktu vysokotlaké vody a zbylé kinetické energie. Jeden z možných principů zachytávání je maření energie pomocí rotace (ocelové kuličky nebo válečky)³.



Obr. 34 Řezací stůl firmy Rychlý TOM²³.

2.4.1 Řídicí systém

Hlavním úkolem řídicího systému je přenést tvar řezu do pohybu trysky. V dřívější době bylo toto řešeno hlavně na bázi mechanických nebo optických stolů, které byly určené pro technologii pálení plamenem. Vyráběné součásti jsou zpracovány pomocí grafického systému Autocad nebo jiného CAD systému. Takto získaná data jsou pak přenesena do expertního systému, který je kompatibilní s každým standardním CNC systémem. Každý software má databanku, která obsahuje standardní parametry pro velké množství známých materiálů. Výpočetní software určí řezné parametry a optimalizuje program. Programovatelné jsou osy X a Y (lineární a kruhová interpolace)³.

2.5 Tlakový dopravník abraziva

Tlakový dopravník abraziva zajišťuje spolehlivé optimalizované výsledky řezání. Abrazivo se posouvá stlačeným vzduchem ze zásobníku abraziva potrubím do dávkovačů abraziva, které jsou umístěné na portále řezacího stolu⁷.

Množství použitého abraziva je klíčovým faktorem nákladů na provoz a spolehlivost jednotky řezání vysokotlakým vodním paprskem. Optimalizované ovládání všech modulů pomocí řídicího systému CNC proto nejen pomáhá v dosahování přesných řezů, ale snižuje i náklady na spotřební materiál⁷.

2.6 Odkalovací systém

Při provozu technologie dochází k postupnému zaplňování lapače abraziva zbytkovým materiálem, což nevyhnutně vede k přerušení provozu technologie kvůli manuálnímu vyprázdnění lapače. Využití tohoto přídavného zařízení umožňuje nepřetržitý chod

technologie, protože směs zbytkového abrazivního materiálu je neustále odsávána. Propojení abrazivního odkalovacího systému (viz obr. 35) a CNC řezacího stolu tak umožní využít 100% času technologie a zabrání technologickým prostojům, které jsou pro firmu nákladem bez výnosů.

Základem technologie je vysoce výkonné membránové pneumatické čerpadlo, které je schopné odsávat z lapače zbytkové abrazivo a mechanické nečistoty až do velikosti 4 mm. Směs vody a odpadu z lapače abraziva je čerpadlem přepravena sacími hadicemi z vany řezacího stolu do velkoobjemového jutového vaku, přes který se tato směs separuje. Přefiltrovaná voda je zachycována v pomocné nádrži a je vedena zpět pomocí kalového čerpadla do lapače řezacího stolu. Přesné dávkování přebytečné vody kalovým čerpadlem zpět do lapače pomáhá zároveň čistit speciální sací hlavy umístěné na dně lapače a zabraňuje tak tím jejich možné ucpání velkým množstvím písku⁷.



Obr. 35 Odkalovací systém firmy Rychlý TOM RT-AOS-3²⁴.

2.7 Souhrnná charakteristika vysokotlakého hydroabrazivního paprsku

Rozebrání možností, universálnosti technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku a vlivu této technologie na řeznou hranu:

- nedochází k tepelnému ovlivnění řezaného materiálu a tím ke změnám jeho struktury,
- minimální silové působení paprsku na řezaný materiál,
- nedochází ke vzniku mikrotrhlin,
- vlivem chladného řezu nevznikají škodlivé emise do ovzduší,
- řez je velmi kvalitní bez otřepů,
- řezná hrana a plocha často nevyžaduje následné opracování,
- přesnost řezání je poměrně vysoká a blíží se přesnosti klasického obrábění,
- šířka řezné spáry při hydroabrazivním paprsku se pohybuje od 0,8 do 2,5 mm

- vedení řezů je možné bezprostřední blízkosti a tím lze dosahovat vysokého využití polotovaru,
- lze řezat i velmi obtížně dělitelné materiály s uspokojivým výsledkem,
- možnost řezání sendvičové a kompozitní materiály s velmi odlišnými vlastnostmi jednotlivých vrstev,
- univerzálnost technologie umožňuje na jednom zařízení obrábět prakticky celé spektrum materiálů³.

2.8 Srovnání parametrů řezání vodním paprskem, plazmou, laserem.

Porovnání technologie vysokotlakého vodního paprsku s ostatními nekonvečními metodami obrábění (viz tab. 2.1)

Tab. 2.1 Srovnání parametrů řezání 1/2³.

	Vysokotlaký hydroabrazivní paprsek	Plazma	Laser
Nástroj	vysokotlaký vodní paprsek s abrazivem	Plazma	laserový paprsek
Dělitelné materiály	všechny materiály	pouze železné a neželezné kovy	celé spektrum materiálů kromě těch, které mají vysokou světelnou odrazivost
Teplota řezu	studený řez	horký řez	teplý řez
Vliv teploty řezu na materiál	teplota řeznou hranu neovlivňuje	řezná hrana je velice ovlivněná	malý vliv teploty na řeznou hranu
Změny struktury materiálu	žádné změny v oblasti řezné hrany	velké změny v oblasti řezné hrany	malé změny v oblasti řezné hrany
Kolmost řezu	mírný sklon řezu od kolmice	silný odklon řezu od kolmice	mírný odklon řezu od kolmice
Výronek na řezné spáře	řez je bez výronku	řez je bez výronku	řez je většinou bez výronku
Drsnost řezné plochy	řezná plocha může být velmi málo drsná – závislost na řezné rychlosti, povrch může být i $R_a = 1,6 \mu\text{m}$	řezná plocha má výrazné striace	řezná plocha je poměrně málo drsná
Tvrdost řezaného materiálu	tvrdost ovlivňuje řeznou rychlost mírně negativně	tvrdost nemá vliv na řeznou rychlost	tvrdost nemá vliv na řeznou rychlost
Řezání plastů	je možné	není možné	je možné, ale je nutno vyřešit likvidaci vznikajících toxických plynů

Tab. 2.1 Srovnání parametrů řezání, 2/2³.

	Vysokotlaký hydroabrazivním paprsek	Plazma	Laser
Řezání kompozitních materiálů	je vhodné	pouze na bázi kovů	pouze pokud mají stejnou teplotu tání jednotlivých složek
Řezná keramiky, skla, kamene	je vhodné výjimkou tvrzeného skla	není možné	velmi omezeně
Reliéf obrábění – gravírování, rytí	výjimečně s ohledem na rozstřík paprsku a řízení hloubky obrábění	není možné	je možné s omezením na řízení hloubky obrábění
Velikost materiálu	malé i velké dílce	velké dílce	malé i velké dílce
Tloušťka materiálu	všechny tloušťky od folií až po velmi silné dílce	střední a silné polotovary	malé a střední polotovary
Tvarová složitost	komplikované tvary	jednoduché výrobky	komplikované tvary
Průstřel	je možný	je možný	je možný
Vznik plyných emisí	bez vývinu dýmu, nebo jen při průstřelu	velké množství dýmu	malé množství dýmu
Vznik oxidických povlaků	vznikají pouze při řezání materiálů korodujících ve styku s vodou – při delší expozici	vytváří se na řezné hraně	vznikají pouze při řezání kyslíkem

3 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI RYCHLÝ TOM, S.R.O

3.1 Historie

Společnost Rychlý TOM s.r.o. vznikla v lednu roku 2006, kdy se věnovala převážně dělení materiálu vysokotlakým hydroabrazivním paprskem na zařízení vlastní konstrukce ve své první provozovně v Hradci Králové. Logo společnosti je na obr. 35²⁵.



Obr. 35 Logo společnosti Rychlý TOM, s.r.o.²⁵.

Mimo dělení materiálů se společnost od začátku zabývala i prodejem náhradních dílů, náradí a přípravků pro technologii řezání vodním paprskem, prodejem abraziva a servisem technologií na dělení materiálu hydroabrazivním paprskem. Na konci roku 2006 vyvolal jeden z klientů diskusi o možnosti vyrobit pro něj toto zařízení. Tato diskuse byla úspěšná a na jaře 2007 byla vyrobena a dodána první CNC technologie na řezání vodním paprskem řady RT a rozhodnutí zabývat se i výrobou, servisem a montáží kompletních pracovišť²⁵.

Do konce roku 2007 byly vyrobeny a prodány dvě kompletní pracoviště s CNC technologií. Je navázána úzká spolupráce se společností KMT Waterjet Systems Inc., která je světovým výrobcem systémových řešení pro řezání vodním paprskem²⁵.

Přelomovým rokem se stává rok 2008, kdy se výroba CNC stolů spustila naplno a zároveň byla otevřena druhá provozovna v Hranicích na Moravě zaměřená pouze na dělení materiálů vysokotlakým hydroabrazivním paprskem. Koncem roku 2008 se společnost přestěhovala z pronajatých prostor v Hradci Králové do vlastních prostor v obci Výrava, kde je situováno pracoviště na poskytování služeb v oblasti řezání hydroabrazivním paprskem i výroba CNC technologie²⁵.

Do současnosti společnost umístila na trh 45 kompletních pracovišť. Společnost disponuje dvěma fungujícími provozovnami. Jedna provozovna je v Drahotuších u Hranic na Moravě a druhá ve Výravě u Hradce Králového²⁵.

3.2 Provozovna Drahotuše

Provozovna v Drahotuších poskytuje služby v oblasti řezání všech druhů materiálů vysokotlakým hydroabrazivním paprskem. Provozovna je vybavena technologií vysokotlakého hydroabrazivního paprsku vlastní výroby o označení RT 3020-1NK-037-12 (viz obr. 36), vysokotlakým vodním čerpadlem KMT STREALINE SL-V 50 PLUS o výkonu 37 kW, bližší technické specifikace (viz příloha č. 7).

Technické parametry RT 3020-1NK-037-12:

- pracovní rozměr stolu 3000x2000 mm,
- přejezdová rychlost 15 m/min,
- pracovní rychlost 0,1 – 15 mm/min,
- přesnost polohování 0,02 mm
- osa Z se zdvihem 250 mm,

- řezání ve 2D, eliminace úhlu podřezu a dělení základních tvarů pod úhlem 20° v jedné ose a 45° v ose druhé.



Obr. 36 Technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku RT 3020-1NK-037-12.

3.3 Provozovna Výrava

Provozovna ve Výravě u Hradce Králového poskytuje služby v oblasti dělení všech druhů materiálů vysokotlakým hydroabrazivním paprskem a možnost řezání i do materiálu dodaným zákazníkem. Dále se zabývá výrobou CNC technologie pro řezání vysokotlakým hydroabrazivním paprskem, prodejem náhradních dílů a spotřebního materiálu k technologii výhradně od firmy KMT. Společnost Rychlý TOM má certifikát autorizovaného prodejce náhradních dílů pro řady: STREALINE SL-V SERIES, AMS, AQUALINE I (viz příloha č. 9). Provozovna je vybavena technologií vysokotlakého hydroabrazivního paprsku vlastní výroby o označení RT 4025-1NK (viz obr. 37), vysokotlakým vodním čerpadlem KMT STREALINE PRO 60 o výkonu 45 kW, bližší technické specifikace jsou uvedeny v příloze č. 8.

Technické parametry RT 4025-1NK:

- pracovní rozměr stolu 4000x2500 mm,
- přejezdová rychlost 15 m/min,
- pracovní rychlost 0,1 – 15 mm/min,
- přesnost polohování 0,02 mm
- osa Z se zdvihem 250 mm,
- řezání ve 2D, eliminace úhlu podřezu a dělení základních tvarů pod úhlem 20° v jedné ose a 45° v ose druhé.



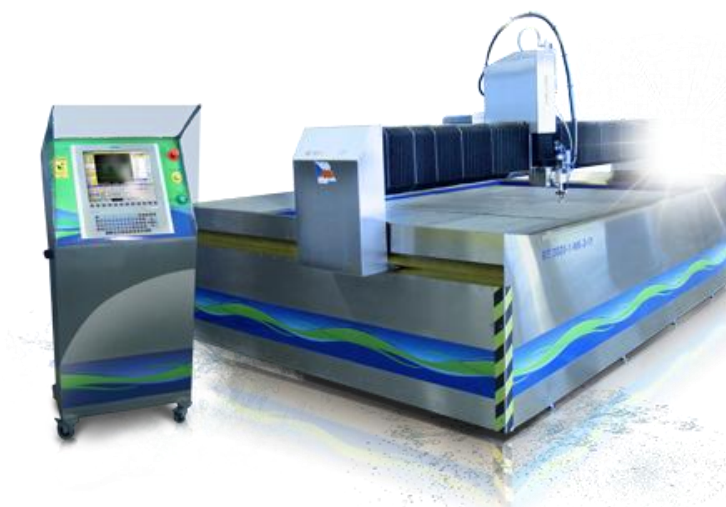
Obr. 37 Technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku RT 4025-1NK.

3.4 Vyráběné řady technologie

Představení jednotlivých vyráběných řad technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku společností Rychlý TOM, s.r.o. a uvedení základních specifikací a údajů u jednotlivých řad.

3.4.1 BLUE LINE

Blue line (viz obr. 38) je standardní řada určená pro široké spektrum využití s vysokým standardním vybavením o pracovních rozměrech od 1x1m do 4x4m (osy X-Y) s 1 až 2 řezacími hlavami nesenými na samostatných osách Z. Tuto řadu je možné vybavit naklápěcí hlavou určenou pro eliminaci úhlu podřezu a dělení základních tvarů pod úhlem 20° v ose jedné a až 45° v ose druhé²³. Bližší technické parametry, standardní a nadstandardní výbava viz příloha č. 10.



Obr. 38 BLUE LINE²³.

3.4.2 JET LINE

Jet line (viz obr. 39) je řada určená pro dělení měkkých plochých materiálů čistou vodou bez příměsi abraziva v pracovních rozměrech od 1x1m do 4x4m (osy X-Y) s 1 až 10 2D řezacími hlavami nesenými na jednotné nebo samostatných osách Z. Tuto řadu je možné vybavit i 1x 3D řezací hlavou určené pro dělení základních tvarů pod úhlem do 45°. Bližší technické parametry, standardní a nadstandardní výbava viz příloha č. 11²⁶. Ukázku řezání řady JET LINE na odkazu: <http://www.youtube.com/watch?v=NdMu2cKpFLg>



Obr. 39 JET LINE²⁶.

3.4.3 RED LINE

Red line (viz obr. 40) je řada vyšší třídy určené pro široké spektrum využití s maximálním vybavením v pracovních rozměrech od 1x1m do 12x4m (osy X-Y) s 1 až 4 řezacími hlavami nesenými na samostatných osách Z. Tato řada je standardně vybavena 1x 3D naklápěcí hlavou určenou pro eliminaci úhlu podřezu a dělení tvarů pod úhlem až 60° v obou osách²⁷. Bližší technické parametry, standardní a nadstandardní výbava viz příloha č. 12.



Obr. 40 RED LINE²⁷.

4 VÝROBA SOUČÁSTÍ

Vyráběné součásti tvaru čtverce (viz obr. 43) dále součásti typu příruba (viz obr. 41) a ozubené kolo (viz obr. 42) byly vyřezány strojem technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku RT 3020-1NK-037-12 (viz kapitola 3.2) s vysokotlakým vodním čerpadlem KMT STREALINE SL-V 50 PLUS o výkonu 37 kW, které je nedílnou součástí této technologie.



Obr. 41 Příruba.

Součást tyto příruba byla vyrobena z 15 různých materiálu a různých tloušťek. Výkres součásti v příloze č. 13 Bližší informace o součástech typu příruba jsou v tab. 4.1. Všechny příruby jsou v příloze č. 14.

Informace týkající se výroby součásti typu příruba:

- Pracovní tlak vody: 4 130 bar,
- Abrazivo: Garnet 80 MESH,
- Stroj: RT 3020-1NK-037-12,
- Vysokotlaké čerpadlo (pumpa): KMT STREALINE SL-V 50 PLUS,
- Hutní polotovary: Tabule plechu.

Tab. 4.1 Bližší informace o součásti typu příruba 1/2.

Materiál	tloušťka materiálu [mm]	Doba řezání
Plexisklo	10	2 min 44 s
Překlička voděodolná	12	2 min 30 s
HARDOX 400	10	9 min 26 s
Ocel 15 230	10	8 min 33 s
Sklo	10	3 min 15 s
Keramická dlažba	10	5 min 53 s
Ocel 17 240	12	8 min 58 s

Tab. 4.1 Bližší informace o součásti typu příruba 2/2.

Materiál	tloušťka materiálu [mm]	Doba řezání
Hliník	10	4 min 45 s
Umělý kámen Technistone	25	6 min 17 s
Guma	30	3 min 24 s
Extrudovaný polystyrén	40	1 min 38 s
Lepený molitan	35	1 min 49 s
PVC	40	4 min 33 s
PVC	10	2 min 20 s
Mosaz	13	4 min 46 s

Příruba z extrudovaného polystyrénu a lepeného molitanu byly vyřezány vysokotlakým vodním paprskem bez abraziva.



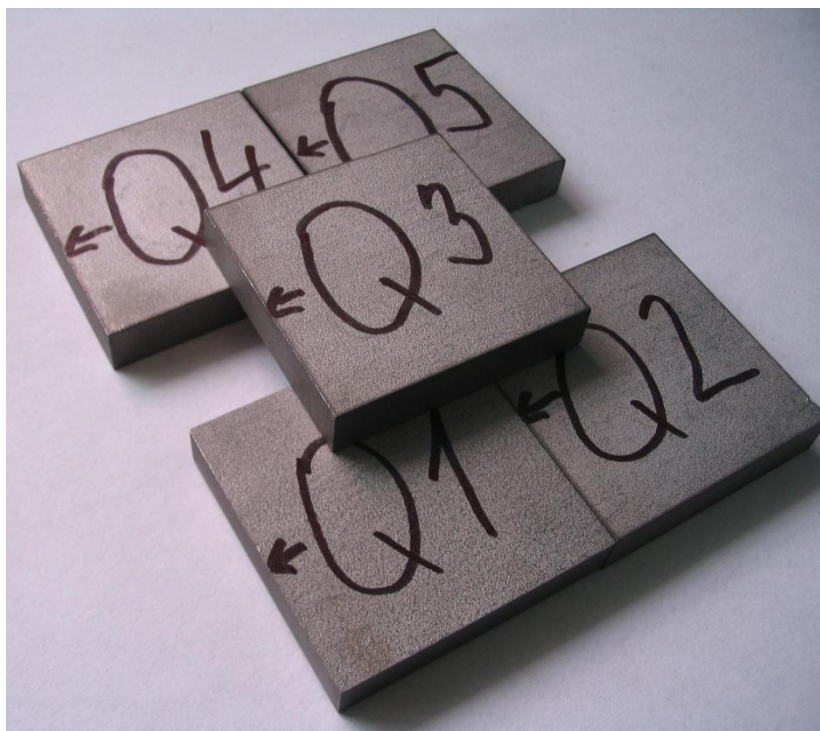
Obr. 42 Ozubené kolo.

Výkres ozubeného kola je přiložen v příloze č. 15. U ozubeného kola byla vyřezána díra o \varnothing 35 mm.

Informace týkající se výroby ozubeného kola:

- Doba řezu: 42 min 55 s,
- Pracovní tlak vody: 4 130 bar,
- Abrazivo: Garnet 80 MESH,
- Stroj: RT 3020-1NK-037-12,
- Vysokotlaké čerpadlo (pumpa): KMT STREALINE SL-V 50 PLUS,
- Hutní polotovar: Tabule plechu 3x2 m,
- Materiál: 17 240,
- Síla materiálu: 25 mm.

Součásti ve tvaru čtverce (viz obr. 43) byly vyřezány pro účely a experimenty této práce v pěti možných jakostech řezu Q1 – Q5, kde Q1 je nejkvalitnější řez a Q5 je nejhorší řez tzv. dělicí řez. V místě kde je šipka se měřila střední aritmetická úchylka profilu Ra V tab. 4.2 jsou uvedeny doby řezání u jednotlivých jakostí řezu. Výkres je přiložen v příloze č. 16.



Obr. 43 Součásti tvaru čtverce.

Tab. 4.2 Doba řezu u jednotlivých jakostí řezu.

Jakost řezu	Doba řezání
Q1	1 min 45 s
Q2	1 min 32 s
Q3	1 min 21 s
Q4	1 min 10s
Q5	1 min 01 s

Informace týkající se výroby ozubeného kola:

- Pracovní tlak vody: 4 130 bar,
- Abrazivo: Garnet 80 MESH,
- Stroj: RT 3020-1NK-037-12,
- Vysokotlaké čerpadlo (pumpa): KMT STREALINE SL-V 50 PLUS,
- Hutní polotovar: Tabule plechu 2x2 m,
- Materiál: 17 240,
- Síla materiálu: 8 mm.

5 NOVÉ TRENDY V TECHNOLOGII

Rozebrání a seznámení s nejnovějšími trendy v oblasti technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku.

5.1 Pětiosá řezací hlava pac 60

PAC 60TM (viz obr. 44) je nejrychlejší a nejpřesnější pětiosá řezací hlava na trhu pro technologii vysokotlakého hydroabrazivního paprsku pro dělení materiálů. Tato řezací hlava je schopna produkovat díly s přesným úhlem až do $\pm 60^\circ$ s možností kontinuální rotace. To znamená, že bez ohledu na geometrii řezaného elementu bude pokračovat v řezání bez nutnosti změny pozice řezací hlavy což šetří čas a produkuje elementy vyšší kvality²⁸. Bližší informace jsou uvedeny v příloze č. 17. Ukázka fungování pětiosé hlavy pac 60 je na následujícím odkazu: <http://www.youtube.com/watch?v=-Gf2OkqhCAQ>



Obr. 44 Pětiosá řezací hlava pac 60²⁸.

5.2 Rotační osa

Rotační osa (viz obr. 45) je přímo poháněné zařízení, schopné přesného polohování obrobku ($\pm 0,1^\circ$) pod paprskem řezací vody. Extrémní přesnost rotační osy je ideální pro přesné aplikace, jako jsou lékařské komponenty a zároveň je rotační osa dostatečně výkonná, aby dokázala otáčet relativně velké trubky (do 300 mm průměru) pro architektonické a průmyslové aplikace²⁹. Bližší informace o rotační ose jsou uvedeny v příloze č. 18. Ukázka fungování rotační osy v praxi je na následujících odkazech:

http://www.youtube.com/watch?v=4UtmxAX_stc

<http://www.youtube.com/watch?v=0I9ha9JV3mE>



Obr. 45 Rotační osa²⁹.

6 DISKUZE

Cílem experimentu bylo zjistit a porovnat střední aritmetické úchyly profilu Ra v horní a dolní kontuře řezu u jednotlivých vzorků, které byly vyřezány jakostmi řezu Q1 – Q5 s teoretickými hodnotami střední aritmetické úchyly profilu Ra, které jsou udány výrobcem. Na základě tohoto experimentu bylo zjištěno a dosaženo hodnot střední aritmetické úchyly profilu Ra, které se od teoretických hodnot střední aritmetické úchyly profilu Ra liší v horní kontuře řezu v řádu desetin μm a v dolní kontuře řezu od desetin až po jednotky μm .

Experiment je závislý na volbě druhu materiálu a jeho tloušťce. Pokud by se zvolil materiál tenčí tak by hodnoty střední aritmetické úchyly profilu Ra v dolní struktuře řezu nabývaly nižších hodnot než hodnoty střední aritmetické úchyly profilu Ra dané výrobcem. Naopak pokud by byl volen materiál tlustší tak by se hodnoty střední aritmetické úchyly profilu Ra v dolní kontuře řezu nelišily tak markantně. Hlavně u řezu jakosti řezu Q5 by byly naměřené hodnoty střední aritmetické úchyly profilu Ra srovnatelné s hodnotami střední aritmetické úchyly profilu Ra.

Dalším experimentem mělo být srovnání textury povrchu řezu v horní a dolní kontuře pořízeném na elektronovém mikroskopu a koherentní korelační interferencí (CCI Lite). Celý experiment nebyl proveden z důvodů vysokých finančních nákladů k pořízení snímků na elektronovém mikroskopu, který vlastní Ústav materiálového inženýrství. Byly pořízeny pouze snímky textury povrchu řezu na přístroji CCI Lite. Snímky zobrazují, jak se liší hodnota střední aritmetické úchyly profilu Ra v horní a dolní kontuře řezu vzorků vyřezaných v jakostech řezu Q1 – Q5.

7 ZÁVĚR

Celá práce je členěna do dvou částí. První část je teoretická a druhá část je praktická. V teoretické části je brán důraz na kvalitu a rozdělení vody podle tvrdosti, která ovlivňuje jak životnost celé technologie tak jednotlivých komponentů a její následná chemická úprava např. deionizace. Dále je rozebrán princip fungování technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku a seznámení s jednotlivými komponenty této technologie a jsou představeny nové trendy v oblasti technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku.

V praktické části jsou porovnány hodnoty střední aritmetické úchylky profilu Ra v horní a dolní kontuře řezu u jednotlivých vzorků, které byly vyřezány v jednotlivých jakostech řezu s hodnotami teoretickými střední aritmetické úchylky profilu Ra udané výrobcem.

U výroby bylo cílem poukázat na dovednost a technologické možnosti technologie. Byly vyřezány součásti typu příruba z různých materiálů a rozdílné tloušťky. Řezání jednotlivých součástí se liší řezacím časem a kvalitou řezaného povrchu podle materiálu.

Technologie vysokotlakého hydroabrazivního paprsku se v dnešní době rozvíjí pro svou univerzálnost a technologickou dovednost. Není nástroje, který je v průběhu směny schopen obrábět ocel o tloušťce 200 mm a následně sklo o tloušťce 10 mm. Některé materiály není možné obrábět jinak než technologií vysokotlakého hydroabrazivního paprsku. Samozřejmě je tato technologie i v určitých směrech limitována, proto sílí tlak na firmy, které se výrobou technologie zabývají, aby tyto limity odstranili.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HÍŘEŠ, Ondrej a Michal HATALA. Delenie kovových materiálov okružnou pílou, vodným prúdom a plazmovým oblúkom. 1. vyd. Ostrava: Jiří Pustina, 2007, 147 s. ISBN 978-80-8073-769-6.
2. Flow. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.flowwaterjet.com/en/waterjet-technology/history.aspx>
3. PTV s.r.o. Firemní materiály"Technologie vysokoenergetického kapalinového paprsku". Hostivice, 2005.
4. MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 275 s. ISBN 80-709-9430-4.
5. BARCAL, Jiří. Nekonenční metody obrábění: Skriptum FSI ČVUT. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1989, 122 s.
6. MORÁVEK, Rudolf. Nekonenční metody obrábění. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 1999, 102 s. ISBN 80-708-2518-9.
7. RYCHLÝ TOM, s.r.o. Firemní materiály"Vodní paprsek". Výrava, 2010.
8. KRAJNÝ, Zdenko. Vodný lúč v praxi - WJM. Bratislava: Epos, 1998, 384 s. ISBN 8080570914.
9. Pražské vodovody a kanalizace: Tvrdost vody. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.pvk.cz/tvrdost-vody.html>
10. HUMÁR, Anton. Technologie I-Technologie obrábění-3.část: Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program [online]. Fakulta strojního inženýrství: VUT v Brně, 2005, 57 s. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
11. PTV, s.r.o: Abrazivo. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.ptv.cz/jnp/cz/produkty/abrazivo/index.html>
12. PÍŠKA, Miroslav. A KOLEKTIV. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
13. HALLIDAY, D. Fyzika - 5 dílů. Brno, 2001, 1198 s. ISBN 80-214-1868-0.
14. PKIT: Gánát. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://pkit.cz/speedblast.php>
15. PTV, s.r.o. Firemní materiály"Recyklační jednotka". Hostivice, 2005.
16. TAYLOR HOBSON. Taylor Hobson: Návod k přístroji CCI Lite. 2011
17. Eppic Waterjet: Vysokotlaké čerpadlo. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: http://eppicwaterjet.ca/gallery/attachment/kmt-streamline-pro2_125hp-pump/
18. Jet System: A Comprehensive Overview of Abrasivejet Technology. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: http://www.jetssystem.pl/filez/Image/lwf4_small.gif
19. Design World: Vysokotlaký ventil. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.designworldonline.com/high-pressure-needle-valves/>

20. Harsoft: Změkčovací jednotka. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.harsoft.cz/harsoft/eshop/15-1-Zmekceni-zmekcovaci-filtry/32-2-rada-OPTIM/5/139-Zmekcovaci-filtry-DUO-OPTIM-15-100>
21. OVSP: Hloubkový filtr. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://cerpadla-ovsp.cz/prislusenstvi-k-cerpadlum/150-aqua-filtr-1-93-4-transparentni-bez-vlozky.html>
22. AWAC: Systémy dělení vodním paprskem. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: www.awac.cz
23. Rychlý Tom, s.r.o: BLUE LINE. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.rychlytom.cz/cs/blue-line/stroje-pro-rezani-vodnim-paprskem/cnc-stoly/blue-line>
24. Rychlý Tom, s.r.o: Odkalovací zařízení. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.rychlytom.cz/cs/odkalovaci-zarizeni/stroje-pro-rezani-vodnim-paprskem/prislusenstvi/odkalovaci-zarizeni>
25. Rychlý Tom, s.r.o.: Logo, kontakt. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.rychlytom.cz/cs/kontakt/>
26. Rychlý Tom, s.r.o.: JET LINE. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.rychlytom.cz/cs/jet-line/stroje-pro-rezani-vodnim-paprskem/cnc-stoly/jet-line>
27. Rychlý Tom, s.r.o.: RED LINE. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.rychlytom.cz/cs/red-line/stroje-pro-rezani-vodnim-paprskem/cnc-stoly/red-line>
28. Rychlý Tom, s.r.o.: PAC 60, 5 - osá hlava. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.rychlytom.cz/cs/3d-rezaci-hlava-pac-60/stroje-pro-rezani-vodnim-paprskem/prislusenstvi/3d-rezaci-hlava-pac-60>
29. Rychlý Tom, s.r.o.: Rotační osa. [online]. [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.rychlytom.cz/cs/rotacni-osa/stroje-pro-rezani-vodnim-paprskem/prislusenstvi/rotacni-osa>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Jednotka	Popis
2D	[-]	2-Dimension
3D	[-]	3-Dimension
Al₂O₃	[-]	Oxid hlinitý
AWJ	[-]	Abrasive Waterjet Machinning
CaCO₃	[-]	Uhličitan vápenatý
CAD	[-]	Computer Aid System
CaO	[-]	Oxid vápenatý
CCD	[-]	Charged Coupled Device
CNC	[-]	Computer Numerical Control
CaO	[-]	Oxid vápenatý
DIN	[-]	Deutsche Industrie Norm
EU	[-]	European Union
°F	[-]	Francouzský stupeň tvrdosti (stupeň Fahrenheita)
Fe₂O₃	[-]	Oxid železitý
MgO	[-]	Oxid hořečnatý
MnO	[-]	Oxid manganatý
PVC	[-]	Polyvinylchlorid
SiC	[-]	Karbid křemíku
SiO₂	[-]	Oxid křemičitý
TDS	[-]	Total Dissolved Solids
TiO₂	[-]	Oxid titaničitý
WJW	[-]	Waterjet Machinning
°dH	[-]	Německý stupeň tvrdosti

Zkratka	Jednotka	Popis
pH	[-]	Potential of Hydrogen

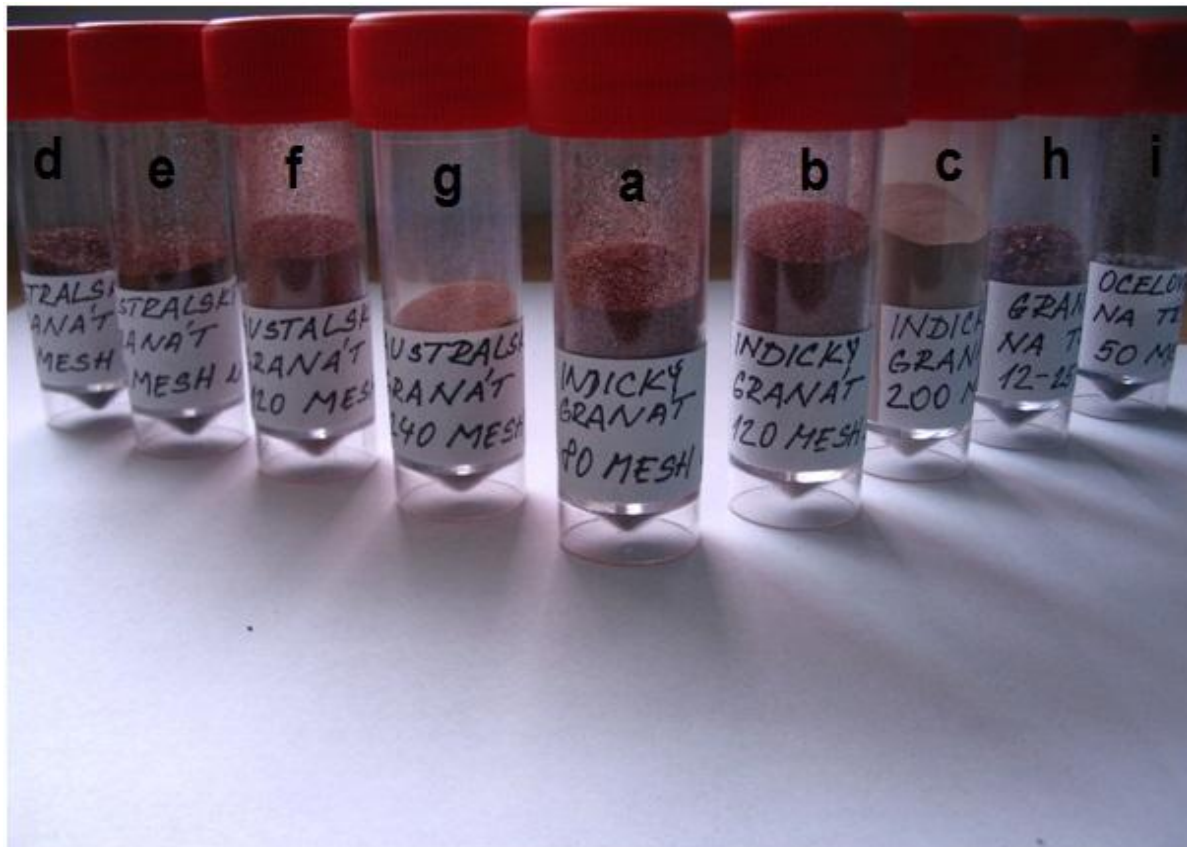
Symbol	Jednotka	Popis
Ra	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
S ₁	[mm ²]	plocha pístu 1
S ₂	[mm ²]	plocha pístu 2
p ₁	[Pa]	tlak v multiplikátoru vyvolaný pístem 1
p ₂	[Pa]	tlak v multiplikátoru vyvolaný pístem 2

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Vzorky Abraziva
Příloha 2	Produktový list k abrazivu GARMET 80 MESH
Příloha 3	Vzorky jakostí řezu
Příloha 4	Vysokotlaké potrubí
Příloha 5	Řezací hlava
Příloha 6	Tryska
Příloha 7	Technická data o Vysokotlakém čerpadle KMT Streamline SL-V 50 Plus
Příloha 8	Technická data o Vysokotlakém čerpadle KMT Streamline Pro 60
Příloha 9	Certifikát prodejce náhradních dílů KMT
Příloha 10	Informace o řadě BLUE LINE
Příloha 11	Informace o řadě JET LINE
Příloha 12	Informace o řadě RED LINE
Příloha 13	Součásti typu příruba
Příloha 14	Výkres příruby
Příloha 15	Výkres ozubeného kola
Příloha 16	Výkres čtvercové součásti
Příloha 17	Informace o řezací hlavě PAC 60
Příloha 18	Informace o rotační ose
Příloha 19	Medium DVD – R, fotky z měření a řezání vzorků + video řezání technologií vysokotlakého hydroabrazivního paprsku

PŘÍLOHA 1

Vzorky Abraziva.



Legenda:

- a – Indický granát 80 MESH,
- b – Indický granát 120 MESH,
- c – Indický granát 200 MESH,
- d – Australský granát 60 MESH,
- e – Australský granát 80 MESH,
- f – Australský granát 120 MESH,
- g – Australský granát 240 MESH,
- h – Granát na tryskání 12 – 25 MESH,
- i – Ocelové broky na tryskání 50 MESH.

PŘÍLOHA 2

Produktový list k abrazivu GARMET 80 MESH.

	V.V. MINERAL - INDIA CENTRAL LABORATORY	
QUALITY CERTIFICATE		

P.O.No	: GAR/62/13-14	Certificate. No.	: 11038/13-14
Customer Name	: GARNET POLSKA	Dated	: 14-08-2013
Product Name	: GARNET	Invoice. No.	: 651/13-14
Grade&Size	: SPL D(0.300-0.180mm)	Sample Qty	: 100 gms
Qty for this Lot	:	Marking	: Grade - #80
Date of shipment	:	Packing	: 25 kg bags in 1 ton bags

We hereby Certify that the Garnet shipped for the P.O.No : is having the following results from our Lab Analysis.

CHEMICAL ANALYSIS :

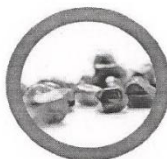
ELEMENTS	%
SiO ₂	35.58
Al ₂ O ₃	20.58
Fe ₂ O ₃	30.47
MgO	7.84
CaO	1.42
TiO ₂	3.25

SIEVE ANALYSIS REPORT :

M.M	ASTM	Guranteed %	ACTUAL%	CUM%
40	0.425	0.0	0.00	0.00
45	0.355	0.0 ~ 2.0	0.20	0.20
50	0.300	4.0 ~ 10.0	5.22	5.42
60	0.250	20.0 ~ 35.0	32.26	37.68
70	0.212	30.0 ~ 45.0	38.00	75.68
80	0.180	10.0 ~ 25.0	16.10	91.78
100	0.150	4.0 ~ 10.0	6.74	98.52
120	0.125	0 ~ 5.0	1.48	100

Mineral composition : % by Weight

Garnet : 99.04 %
Ilmenite : 00.85 %
Others : 00.11 %



Physical Characteristics

Specific Gravity : 4.1
Conductivity : 10.71ms/m at 23.7°C
Chloride : 18.13 ppm
Hardness : > 7 moh scale
Acid Solubility(Hcl) : < 1.0 %
Colour : red - pink
Grain Shape : Subangular
Toxic substances : None
Moisture : 0.18 %
Bulk Density : 2.47 g/cm³

CERTIFIED BY:



SIGNATURE

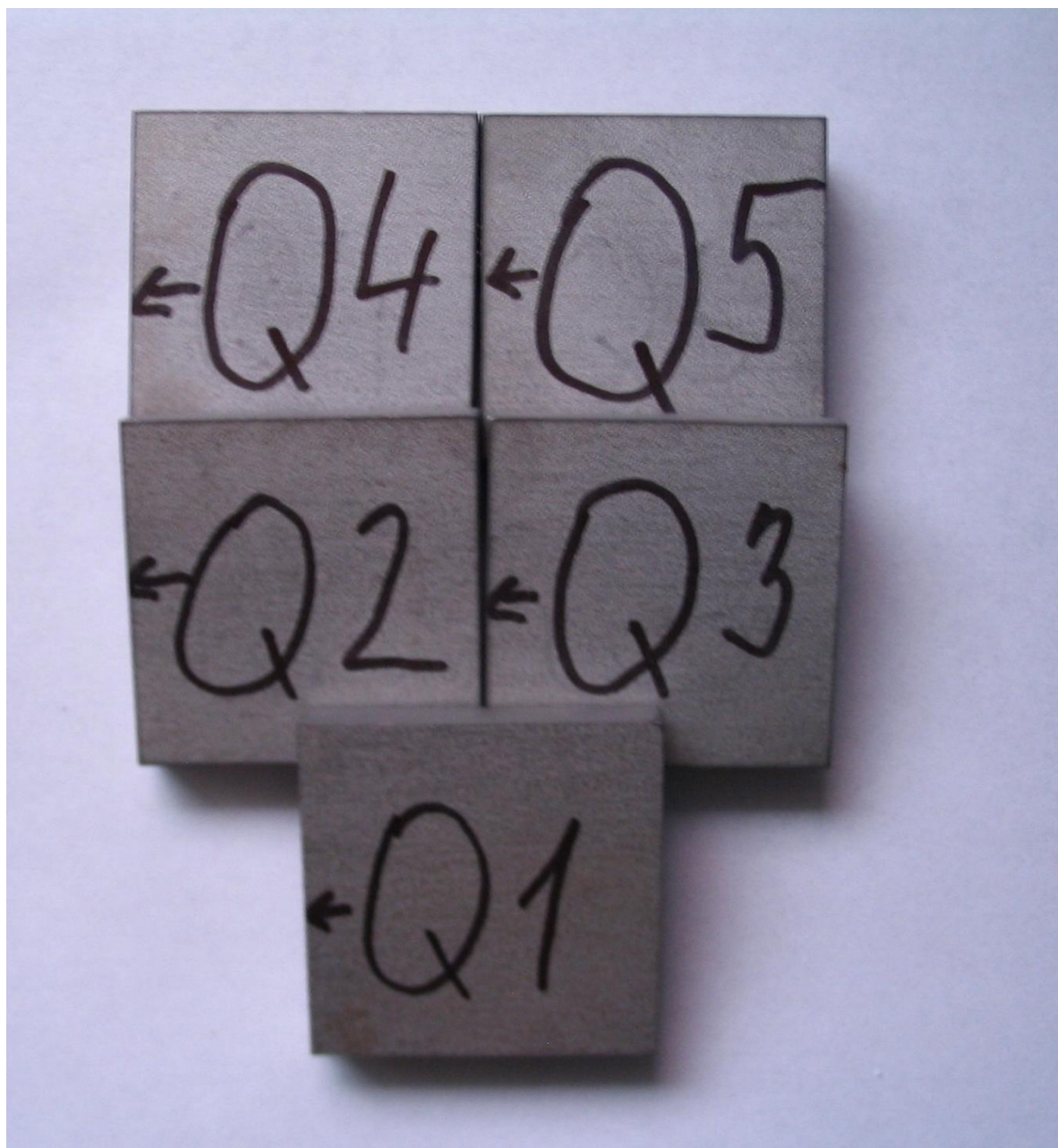
* "Sample taken and Sieve Analysis under the reference of ISO 11127-2"
* "Chemical Analysis have been determined by Lab XRF"

"Conductivity and Moisture Analyzed by Metler"
* "Chloride Content Analyze by Spectra Photometer"

V.V. MINERAL, KEERAIKARANTHATTU, TISAIYANVILAI-627657, TIRUNELVELI DISTRICT, TAMIL NADU, INDIA
PH: +91 4637 273202, 273302 FAX: +91 4637 273802 EMAIL: SALES@VVMINERAL.COM

PŘÍLOHA 3

Vzorky jakostí řezu.



PŘÍLOHA 4

Vysokotlaké potrubí.



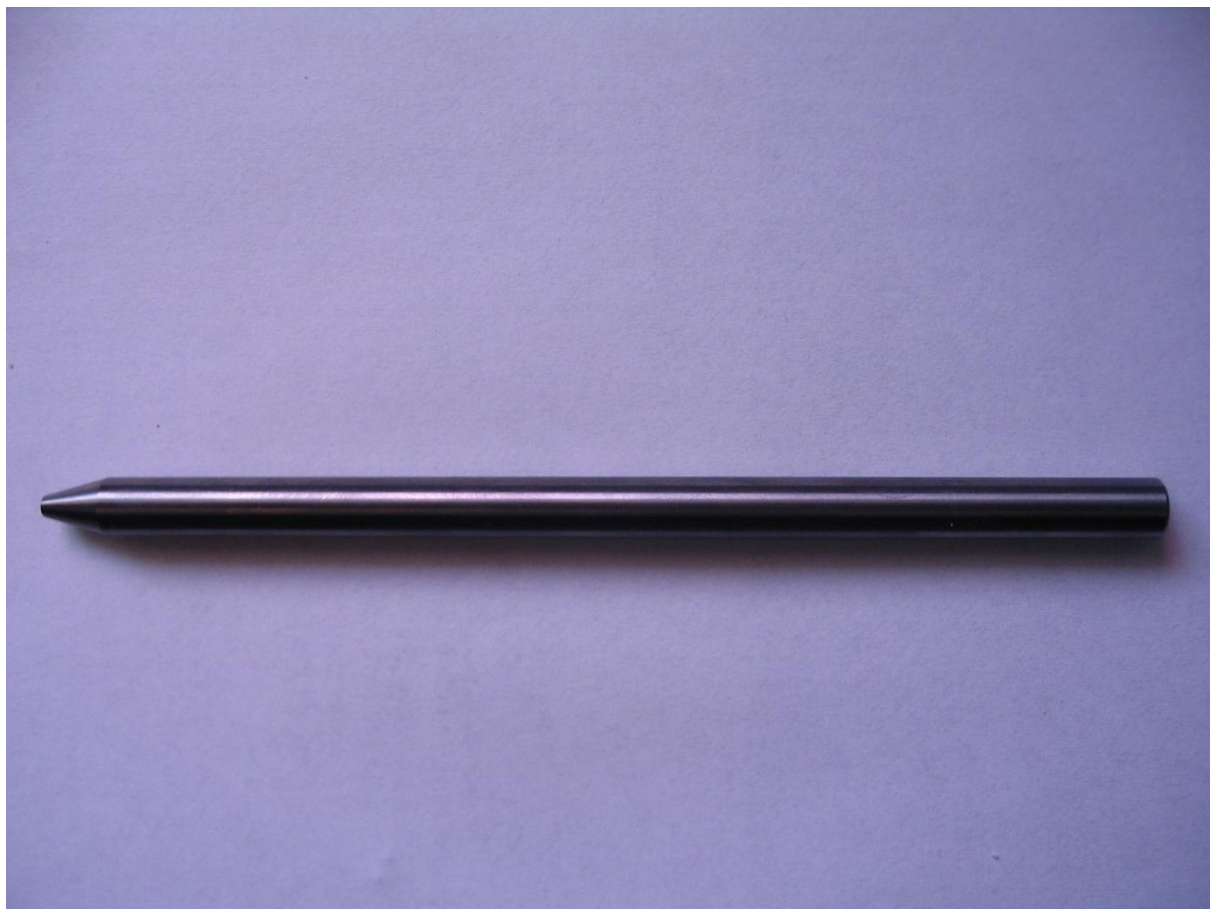
PŘÍLOHA 5

Řezací hlava.



PŘÍLOHA 6

Tryska.



PŘÍLOHA 7

Technická data o Vysokotlakém čerpadle KMT Streamline SL-V 50 Plus.

Technical Specifications

	SL-V 15 PLUS	SL-V 30 PLUS	SL-V 50 PLUS	SL-V 60 PLUS	SL-V 75 PLUS	SL-V 100 PLUS
System Informaton						
Nominal Power Rate	15hp (11kW)	30hp (22kW)	50hp (37kW)	60hp (45kW)	75hp (56kW)	100hp (75kW)
Maximum Pressure Range	60,000psi (4,137 bar)					
Max. Water Flow Rate @ 55,000psi (3,792 bar)	.30 gpm (1.14 lpm)	.60 gpm (2.27 lpm)	1.0 gpm (3.79 lpm)	1.2 gpm (4.54 lpm)	1.5 gpm (5.68 lpm)	2.0 gpm (7.57 lpm)
Maximum Single Orifice Diameter	0.007" (0.178mm)	0.011" (0.279mm)	0.014" (0.355mm)	0.015" (0.381mm)	0.017" (0.432mm)	0.020" (0.508mm)
Number of Language Options on Display	5					
Control Voltage & Power Supply	24V DC; 10 Amps DC					
Max. Noise Level	75.5 dB(A)	72.5 dB(A)	77.5 dB(A)			
Ambient Operating Temperature	Minimum: 40° F (5° C); Maximum: 104° F (40° C)					
Length	56" (1.4 m)	67.75" (1.7 m)	77.75" (2.0 m)			
Width	28" (711 mm)	36.00" (914 mm)	36.00" (914 mm)	36.00" (914 mm)	36.00" (914 mm)	36.00" (914 mm)
Height	33" (838 mm)	57.19" (1,453 mm)				
Weight	1,800 lbs (816 kg)	2,100 lbs (953 kg)	2,900 lbs (1,315 kg)	3,400 lbs(1,542 kg)	3,800 lbs (1,724 kg)	4,200 lbs (1,905 kg)
Cutting Water						
Minimum Inlet Cutting Water Flow	1.5 gpm (6.82 lpm)	2.5 gpm (9.5 lpm)	4.0 gpm (15.1 lpm)	4.8 gpm (18.2 lpm)	6.0 gpm (22.7 lpm)	8.0 gpm (30.3 lpm)
Minimum Inlet Cutting Water Pressure	35 psi (2.4 bar) flowing					
Plunger Diameter	0.875" (22.2mm)				1.125" (28.6mm)	
Max. Nominal Strokes per Minute (at 55,000 psi, 3,792 bar)	17	34	54	64	51	71
Accumulator Volume	0.11 gal (0.41 L)	0.25 gal (0.96 L)			0.51 gal (1.92 L)	
Hydraulic System						
Max. Hydraulic Pressure (operating at max water pressure)	3,000 psi (207 bar)				2,600 psi (179 bar)	
Hydraulic Reservoir Capacity	12 gal (45 L)	28 gal (106 L)			48 gal (182 L)	
Hydraulic Pump Flow Rate at 60Hz (@1,750 rpm)	12.9 gpm (49 lpm)	20.9 gpm (79 lpm)	33.0 gpm (125 lpm)	33.0 gpm (125 lpm)	53.4 gpm (202 lpm)	65.0 gpm (246 lpm)
Cooling System						
Cooling Water Consumption @ 75° F (24° C) Water Temp. (Max)	2 gpm (7.6 lpm)	2.5 gpm (9.5 lpm)	3 gpm (11.4 lpm)	3.5 gpm (13.2 lpm)	4 gpm (15.1 lpm)	4.5 gpm (17.0 lpm)
Minimum Cooling Water Pressure	35 psi (2.4 bar)					
Options & Other Features						
Booster Pump (adjustable & protected)	na	Included	Included	Included	Included	Included
Wye-Delta Starter or Soft Start	na	Optional	Optional	Optional	Wye Delta Included Soft Start Optional	Wye Delta Included Soft Start Optional
Oil / Air-Cooler	na	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Dual Pressure Compensator	na	Included	Included	Included	Included	Included
Redundant Topworks	na	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Proportional Control	na	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Remote Online Diagnostics (via Modem)	na	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
EQUALIZER Networking Kit Compatible	na	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional

PŘÍLOHA 8

Technická data o Vysokotlakém čerpadle KMT Streamline Pro 60.

Technical Data

System Information	Unit	PRO 60	PRO 125
Nominal Power Rate	kW/PS	45 / 60	93 / 125
Max. Continuous Pressure	bar	1.200 – 6.200	1.200 – 6.200
Max. Water Flow Rate @ Max. Pressure	l/min	2,8	5,4
Theo. Max. Single Orifice Diameter	mm	0,28	0,40
No. of Language Options on Display		9*	9*
Control Voltage & Power Supply	VDC	24	24
Nom. Motor Current at 400V/50Hz	A	80	160
Circuit Braker at 400V/50Hz	A	100	200
Max. Noise Level/Operators Noise Level	dB(A)	< 72,5	< 84
Ambient Operating Temperature	°C	5 – 40	5 – 40
Length	cm	198	223
Width	cm	91	150
Height	cm	145	155
Weight (Redundant Model)	kg	1.565	3.107
Control System		Touch-Screen-Display (Moeller)	

Cutting Water

Max. Inlet Cutting Water Flow	l/min	15	34,8
Min. Inlet Cutting Water Pressure	bar	2,4	2,4
Max. Nominal Strokes per Minute	min-1	45	45 je Druckübersetzer
Accumulator Volume	l	1,6	1,6
LP Filter	µm abs.	10	10

Hydraulic System

Max. Hydraulic Pressure	bar	162	165
Hydraulic Reservoir Capacity	l	182	416
Hydraulic Pump Flow Rate at Max Output	l/min	242	242

Cooling System

Minimal Cooling Water Pressure	bar	2,4	2,4
Cooling Water Consumption at 24°C	l/min	13,2	24,6
Transmission Ratio		38,5 : 1	38,5 : 1

Options & Other Features

Booster Pump (adjustable & protected)	●	●
Soft Starter	●	●
Oil / Air-Cooler (Closed Loop Cooling System)	○	○
Redundant Topworks	○	–
Proportional Control	●	●
Remote Online Diagnostics	○	○
Networking Interface Kit	○	○
Door Swing Open (Remove Easily)	●	●
ProfiBus Connection	○	○
Tool Kit	○	○
Spare Parts Kit	○	○
CE Mark attached	●	●

* english, german, french, spanish, italian, swedish, finnish, polish, czech

● = Standard
○ = Optional Feature

Maximum Number of Cutting Heads a 6.200 bar

Ø in mm	0.10	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.23	0.25	0.28	0.30	0.33	0.35	0.38	0.40
Pro-I 60	7	4	3	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Pro-I 125	15	10	6	4	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1

PŘÍLOHA 9

Certifikát prodejce náhradních dílů KMT.



OEM CERTIFICATE

This document acknowledges

Rychlý TOM, s.r.o
Výrava č.p. 80,
503 03 Smiřice • Czech Republic

as a certified OEM of KMT Waterjet Systems
from 1st January 2014 to 31st December 2014.
The company is authorized to implement the following
KMT Waterjet products into its entire product line:

STREAMLINE SL-V Series
AMS
AQUALINE I



KMT GmbH • KMT Waterjet Systems
Hohe Straße 4-6
61231 Bad Nauheim
Germany

Michael Kolodziej
Manager Business Development

Adam Mikłaszewicz
Area Manager

Bad Nauheim, 2014-01-01

PŘÍLOHA 10

Informace o řadě BLUE LINE.

BLUE LINE

Blue line řada CNC řezacích stolů je standardní řada určená pro široké spektrum využití s vysokým standardním vybavením v pracovních rozměrech od 1x1m do 4x4m (osy X-Y) s 1-2 řezacími hlavami nesenými na samostatných osách Z. Tuto řadu je možné vybavit určené pro eliminaci úhlu podřezu a dělení základních tvarů pod úhlem 20° v ose jedné a až 45° v ose druhé.

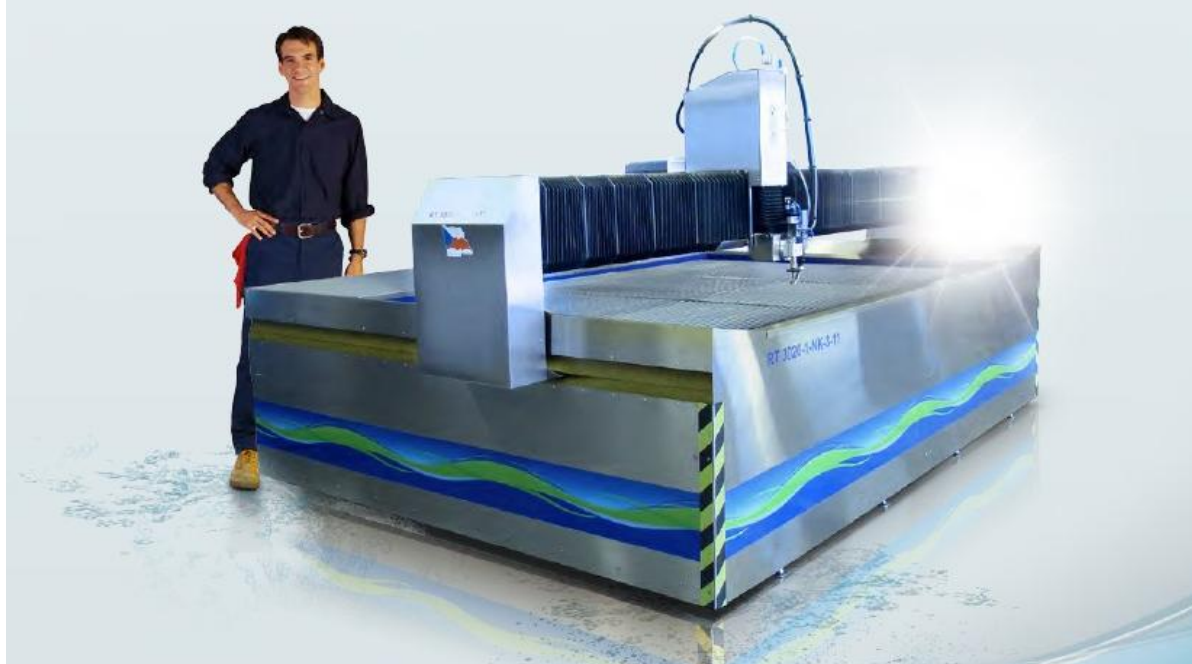
Přejezdová rychlost	15 m/min
Pracovní rychlost	0.1 - 15 000 mm/min
Přesnost polohování	0.02 mm
Osa Z se zdvihem	250 mm

STANDARDNÍ VÝBAVA:

- › Integrované pojezdy na lapači nebo oddělené mimo lapač na samostatných nosících kotvených k zemi
- › Všechny osy (X, Y, Z) jsou opatřeny přímo poháněnými kuličkovými šrouby s přesnými převodovkami
- › Přejezdová rychlost 15m/min
- › Pracovní rychlost 0,1-15000 mm/min
- › Přesnost polohování 0,02 mm
- › Osa Z se zdvihem 250 mm
- › Celoobvodový krycí měch portálu stolu
- › Dvojitě krycí šterbiny podélných os z otěruvzdorného polytanu.
- › Vysoko zátěžový silnostěnný lapač stolu (5mm síla plechu) s třívrstevným voděodolným nátěrem, po stranách s dvojitou stěnou s přípravou na odkalovací systém
- › Nerezové krytování stolu, povrch brus hrubost 240 v jakosti 1.4301
- › Výškový senzor
- › Integrovaný elektrorozvaděč v konstrukci krytáže stolu
- › Elektronický dávkovač abraziva umožňuje plynulou regulaci řízenou z CNC programu
- › Tlaková doprava abraziva o objemu 1000kg a propojením s řídicím systémem
- › Řídicí počítač na operačním systému Windows
- › Obousměrné propojení vysokotlakového čerpadla s CNC stolem
- › Programovací software Wrykrys 2D
- › Instalace u zákazníka na klíč

VOLITELNÁ VÝBAVA:

- › Oplach řezaného materiálu vodou
- › Odsávání vodních par při průstřelu materiálu
- › Bezdrátové dálkové ovládání pojezdů CNC stolu pro snazší a rychlejší nastavení startovních bodů programu
- › Plynulá regulace tlaku z CNC programu se zpětnou vazbou se zobrazením aktuálního tlaku na monitoru řídicího systému
- › 2 portálové vozíky
- › 1-4 řezací hlavy
- › Pneumatická regulace výšky hladiny ve vaně
- › Nerezový lapač stolu
- › Laserový kříž pro rychlé nastavení startovních bodů
- › Web kamera pro vzdálené sledování řezného procesu dělení materiálů



PŘÍLOHA 11

Informace o řadě JET LINE.



Jet line řada CNC řezacích stolů je řada určená pro dělení měkkých plochých materiálů čistou vodou bez příměsí abraziva v pracovních rozměrech od 1x1m do 4x4m (osy X-Y) s 1- 10 2D řezacími hlavami nesenými na jednotné nebo samostatných osách Z. Tuto řadu je možné vybavit i 1x 3D řezací hlavou určené pro dělení základních tvarů pod úhlem do 45°.

Přejezdová rychlost	20 m/min
Pracovní rychlost	10 - 15 000 mm/min
Přesnost polohování	0.03 mm
Osa Z se zdvihem	100 mm

STANDARTNÍ VÝBAVA:

- › Integrované pojezdy na lapači-snížení vnějších rozměrů, vyšší tuhost mechaniky
- › Všechny osy (X, Y, Z) jsou opatřeny přímo poháněnými kuličkovými šrouby
- › Přejezdová rychlost 20m/min
- › Pracovní rychlost 10-15000mm/min
- › Přesnost polohování 0,02mm
- › Osa Z se zdvihem 100mm
- › Řídící počítač na operačním systému Windows
- › Celoobvodový krycí měch portálu stolu
- › Jednoduché krycí štěrby podélných os z otěruvzdorného polytanu
- › Suchý tenkostěnný nerezový nízký lapač s náplní
- › Hliníko-plastové krytování stolu
- › Obousměrné propojení vysokotlakého čerpadla s CNC stolem
- › Instalace u zákazníka na klíč

VOLITELNÁ VÝBAVA:

- › Bezdrátové dálkové ovládání pojezdů CNC stolu pro snazší a rychlejší nastavení startovních bodů programu
- › Plynulá regulace tlaku z CNC programu se zpětnou vazbou se zobrazením aktuálního tlaku na monitoru řídicího systému
- › 2 portálové vozíky
- › Oboustranný přesuvný stůl pro snížení manipulačních časů s materiálem
- › 3D řezací hlava s natočením +/- 45°
- › Příprava na centrální odsávání
- › Nerezové krytování stolu, povrch brus hrubost 240 v jakosti 1.4301
- › Laserové kříže pro zobrazení startovních poloh jednotlivých řezacích hlav



PŘÍLOHA 12

Informace o řadě RED LINE.



Red line řada CNC řezacích stolů vyšší třídy určené pro široké spektrum využití s maximálním vybavením v pracovních rozměrech od 1x1m do 12x4m (osy X-Y) s 1- 4 řezacími hlavami nesenými na samostatných osách Z. Tato řada je standardně vybavena 1x 3D naklápěcí hlavou určenou pro eliminaci úhlu podřezu a dělení tvarů pod úhlem až 60° v obou osách.

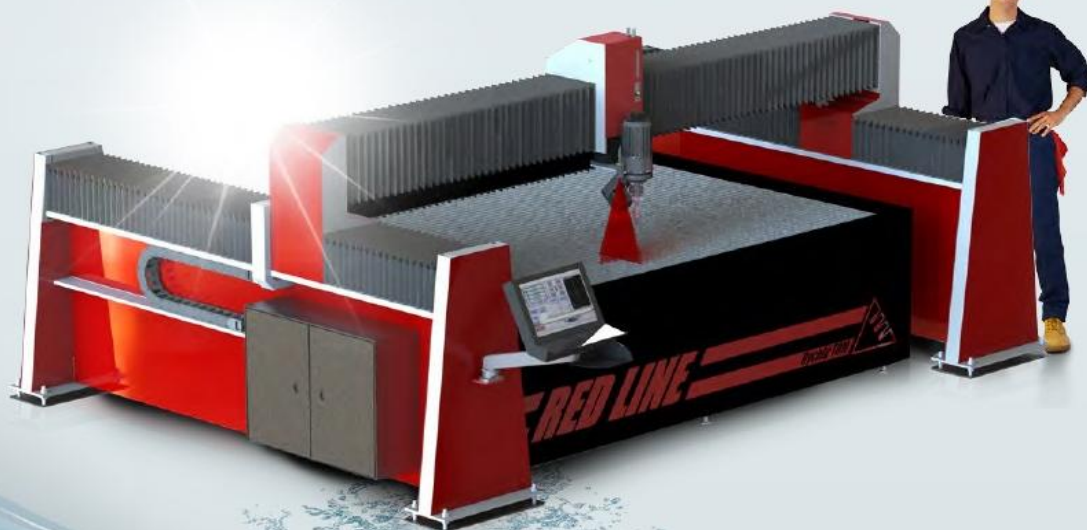
Přejezdová rychlost	20 m/min
Pracovní rychlost	0.1 - 15 000 mm/min
Přesnost polohování	0.02 mm
Osa Z se zdvihem	350 mm

STANDARTNÍ VÝBAVA:

- › Lapač oddělený od pojezdů, pojezdy na ocelových nosnících
- › Použití kuličkových šroubů na osách X, Y, Z s rotačními maticemi (mimo osy Z) nebo lineárních motorů podle délky a provedení
- › Přejezdová rychlost 20m/min (dle provedení pohonů)
- › Pracovní rychlost 0,1-15000mm/min
- › Přesnost polohování 0,02mm
- › Osa Z se zdvihem 350mm
- › Rotační osa PAC 60° ± 60° s možností kontinuální rotace bez nutnosti polohových korekcí v osách X, Y a Z při úhlových pohybech
- › Řídicí počítač na operačním systému Windows
- › Ruční kabelové dálkové ovládání stroje s mikro krokováním pro přesné ruční pohyby
- › Krycí měchy portálu a podélných os
- › Pneumatická regulace výšky hladiny vody v lapači
- › Integrovaný elektrorozvaděč v konstrukci krytáže stolu
- › Elektronický dávkovač abraziva umožňuje plynulou regulaci řízenou z CNC programu
- › Laserový kříž pro rychlé nastavení startovních bodů
- › Tlaková doprava abraziva o objemu 1000kg a propojením s řídicím systémem
- › 3D programovací software instalovaný i do řídicího systému, možné programování i u stroje
- › Instalace u zákazníka na klíč

VOLITELNÁ VÝBAVA:

- › 1-2 portálové vozíky 1-4 řezací hlavy
- › Nerezový lapač stolu, nerezové krytování stolu, povrch brus hrubost 240 v jakosti 1.4301
- › Laserový výškový senzor
- › Inteligentní nesting pro automatické skládání nářezových plánů
- › Klimatizační chlazení vysokotlakého čerpadla
- › Úpravna vody s reverzní osmózou
- › Odsávání vodních par při průstřelu materiálu
- › Oplach materiálu při průstřelu
- › Vysoko zátěžový silnostěnný lapač stolu (5mm síla plechu) s třívrstevným voděodolným nátěrem
- › Jednokomorový nebo dvoukomorový odkalovací systém pro nepřetržitý provoz (dle velikosti stolu)
- › Obousměrné propojení vysokotlakého čerpadla s CNC stolem s plynulou regulací tlaku z CNC programu se zpětnou vazbou se zobrazením aktuálního tlaku na monitoru řídicího systému
- › Inteligentní pneumatická regulace výšky hladiny vody v lapači
- › Pneumatická vyvrtávací osa
- › Web kamera pro sledování řezací trysky
- › Rotační osa na trubky a jekly



PŘÍLOHA 13

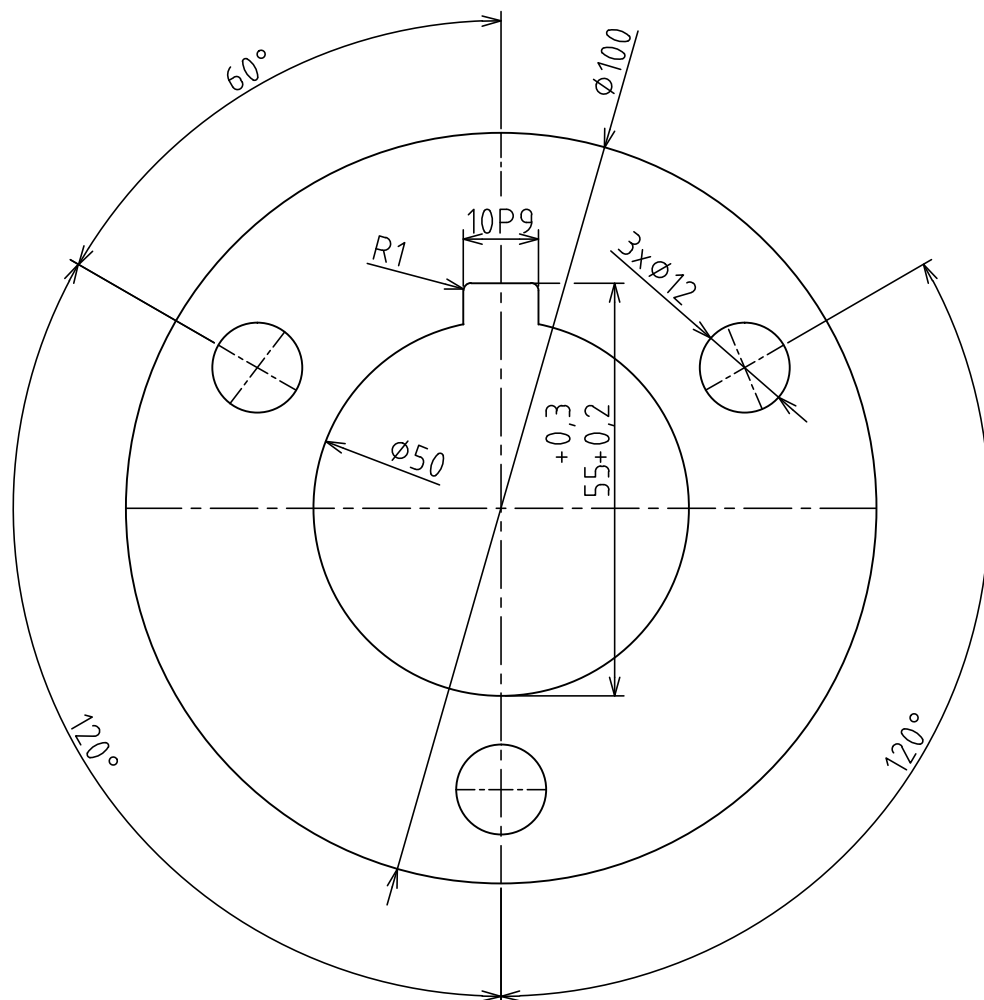
Součásti typu příruba.

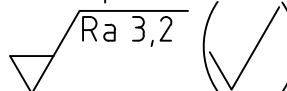
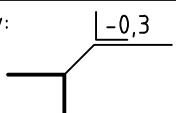
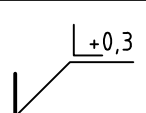




PŘÍLOHA 14

Výkres příruby.

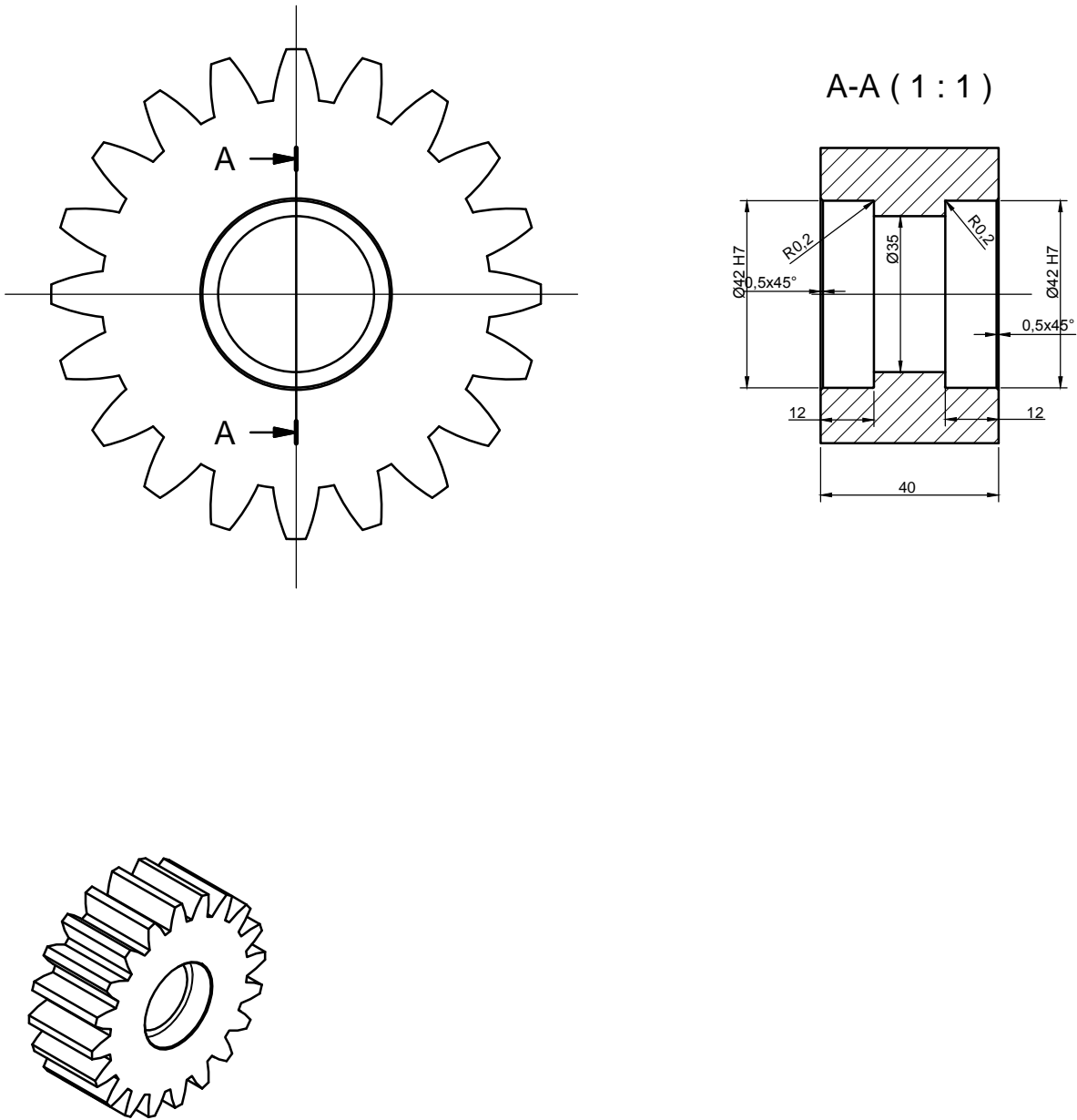
Pzn. Na výkrese není uveden materiál a tloušťka materiálu, protože každá příruba je uřezána z jiného materiálu a různých tloušťek.

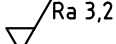

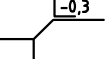




Struktura povrchu: 		Hrany:  		Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768-mK Tolerování ISO 8015 Promítání 
Materiál	Polotovár			Hmotnost kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
 ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ	Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI			Název PŘÍRUBA	
	Kreslil LUKÁŠ PETŘEK				
	Schválil			Číslo dokumentu 01/14	
	Datum vydání 9.5.2014				
List 1/1					

PŘÍLOHA 15

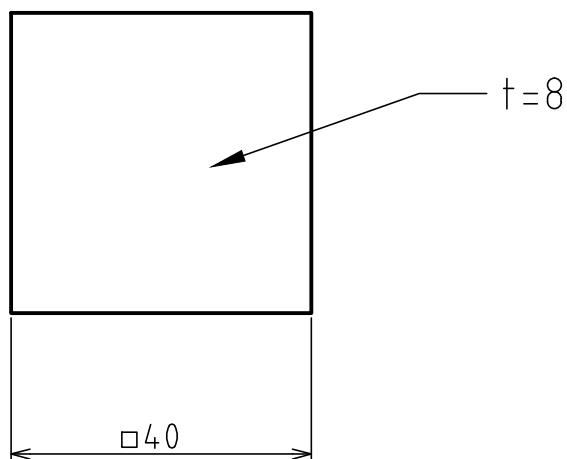
Výkres ozubeného kola.

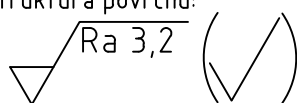
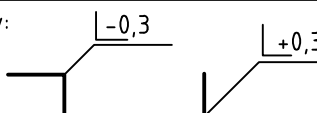




Struktura povrchu:  Ra 3,2 		Hrany:  		Měřítka 1:1	Přesnost ISO2768–MH Tolerování ISO8015 Promítání 
Materiál 17 240	Polotovár			Hmotnost 2,15 kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
	Druh dokumentu	VÝROBNÍ VÝKRES		Název OZUBENÉ KOLO	
	Kreslil	LUKÁŠ PETŘEK			
	Schválil			Číslo dokumentu 01/15	
	Datum vydání	13.5.2014			
List /					

PŘÍLOHA 16

Výkres čtvercové součásti.



Struktura povrchu: 		Hrany: 		Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768-mK Tolerování ISO 8015 Promítání 
Materiál 17 240	Polotovár			Hmotnost kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
 ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ	Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI			Název ČTVEREC	
	Kreslil LUKÁŠ PETŘEK				
	Schválil			Číslo dokumentu 01/16	
	Datum vydání 9.5.2014				
List 1/1					

PŘÍLOHA 17

Informace o řezací hlavě PAC 60.

PAC - 60TM PĚTIOSÁ ŘEZACÍ HLAVA

ELIMINACE PODŘEZU

Řídicí systém PAC 60TM obsahuje databázi algoritmů True Cut® vyvinutou pro stanovení předpokládaného podřezu daného řezného programu. Tento podřez je následně eliminován v průběhu řezání, kdekoliv od 0° do 60°, což umožňuje precizní kontrolu úhlového řezání jakéhokoliv produktu.

TECHNOLOGIE PŘÍMÉHO POHONU

Využitím patentované technologie Direct Drive DC servo motor pro 4. a 5. osu je schopna PAC 60TM dosáhnout přesnosti polohování $\pm 0,1^\circ$ s vysokým zrychlením a polohovací rychlostí. To dělá PAC 60TM nejrychlejší a nejpreciznější pětiosou řezací hlavu na trhu s technologiemi na dělení materiálů vysokotlakým vodním paprskem.



60° ÚHLOVÉ ŘEZÁNÍ

Schopnost produkovat díly s přesným úhlem $\pm 60^\circ$ s možností kontinuální rotace bez nutnosti změny pozice řezací hlavy.



MAPOVÁNÍ POVRCHU

Schopnost udržování přesné vzdálenosti mezi tryskou a řezaným materiálem i v případě, že materiál není rovný.



ELIMINACE PODŘEZU

Kompenzuje předpokládaný podřez a díky „Precision Angle Control“ produkuje díly s kolmými hranami při všech řezných rychlostech.



MULTI-PASS ŘEZÁNÍ

Rychlá a jednoduchá tvorba úkosů, přípravy pro svařování a zahloubení na jedné nebo obou stranách desky.

60° ÚHLOVÉ ŘEZÁNÍ

PAC 60TM je schopna produkovat díly s přesným úhlem až do $\pm 60^\circ$ s možností kontinuální rotace. To znamená, že bez ohledu na geometrii řezaného elementu bude PAC 60TM pokračovat v řezání bez nutnosti změny pozice řezací hlavy což šetří čas a produkuje elementy vyšší kvality.



PŘÍLOHA 18

Informace o rotační ose.

ROTAČNÍ OSA

Rotační osa je přímo poháněné zařízení, schopné přesného ($\pm 0,1^\circ$) polohování obrobku pod paprskem řezací vody. Extrémní přesnost rotační osy je ideální pro přesné aplikace, jako jsou lékařské komponenty a zároveň je rotační osa dostatečně výkonná, aby dokázala otáčet relativně velké trubky (do 300 mm průměru) pro architektonické a průmyslové aplikace.

- › **VYROBENO Z MATERIÁLŮ**
Odolných proti korozi.
- › **INTEGROVÁNO DO SOFTWARE SOFTEC**
Pro snadné použití s technologií PAC 60.
- › **EXTRÉMNI PŘESNOST ($\pm 0,1^\circ$)**
- › **VYSOKÁ RYCHLOST**
Až 120 otáček za minutu.



PŘÍLOHA 19

Medium DVD – R, fotky z měření a řezání vzorků + video řezání technologií vysokotlakého hydroabrazivního paprsku.

